3/1980

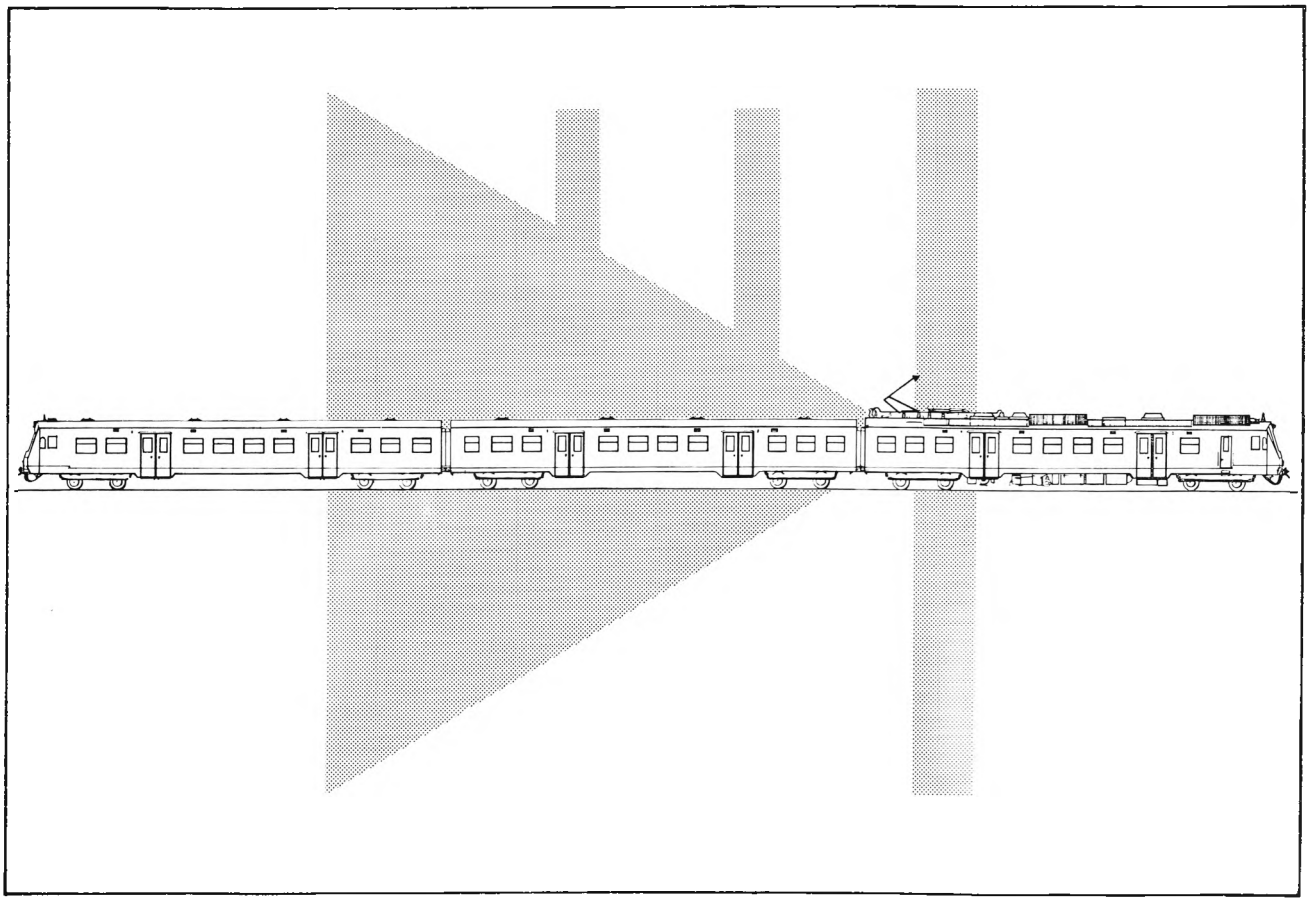
eisenbahntechnik

österreichische fachzeitschrift für modernen eisenbahnbau

AEG-TELEFUNKEN

Untrennbar verbunden –
elektrische Triebfahrzeuge
und Halbleiter

Wir bieten ein universelles Programm an Leistungselektronik für den schienengebundenen Verkehr.



Unsere Schwerpunkte sind:
Umrichter
zur Bahnstromversorgung
für Batterieladung
für einphasige und dreiphasige Wechselstromhilfsbetriebe
für Drehstromantriebe von Fahrzeugen

Stromrichter
für Mischstrom-Fahrmotoren in löschbarer Brückenschaltung zur Leistungsfaktorverbesserung
Chopper
für Gleichstrombetrieb mit Nutzbremse zur Einsparung von Energie

Österreichische AEG-TELEFUNKEN
Bahntechnik
1211 Wien, Brünner Straße 52
Telefon (0222) 38 01-73 26 DW

AEG
Bahntechnik
von AEG-TELEFUNKEN

Inhalt

Produkte und Verfahren/Termine 4

Produkte und Verfahren/Personelles 6

Zeitschriftenschau 8

Dipl.-Ing. W. Zimmer, Wien,
Ing. grad. R. Ludwig, Berlin,
Ing. grad. N. Niehage, Berlin:

Die Stromrichterausrüstung der Triebwagenzüge Reihe 4020 der ÖBB 10

Zur Bewältigung des Nahverkehrs werden bei den Österreichischen Bundesbahnen neue, energiesparende Triebwagen eingesetzt. Die Einsparung an Stromkosten wird durch eine in Österreich von AEG-Telefunken eingeführte elektronische Steuerung mit löschbaren Stromrichtern (LUB-Technik) erreicht. Die wesentlichen Elemente des Leistungskreises und der Steuerelektronik werden in diesem Aufsatz beschrieben.

Kurzmeldungen 16

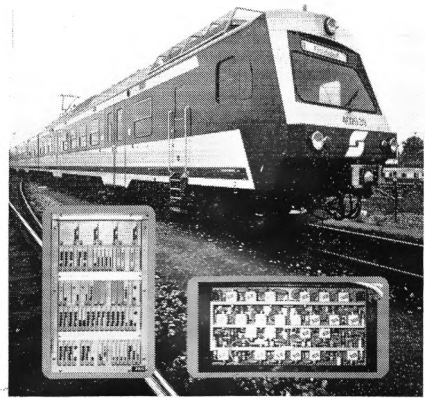
Dipl.-Ing. Dr. techn. E. Körner, Graz:

Das Stabilitätsproblem in den Bewegungsgleichungen des Antriebssystems einer elektrischen Lokomotive 19

Ausgehend vom Zustand einer gleichförmig beschleunigten Bewegung eines Triebfahrzeugsystems, dargestellt durch dessen Bewegungsgleichungen, wird der Einfluß von Störungen durch Reibwertänderungen zunächst theoretisch und schließlich numerisch für den Fall der Thyristorlok Reihe 1044 der ÖBB untersucht. Wertvolle Aufschlüsse über die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen zur Vermeidung gefährlicher Radsatzschwingungen sind das Ergebnis.

Neue Rangierlok-Generation 26

Buchbesprechung 28



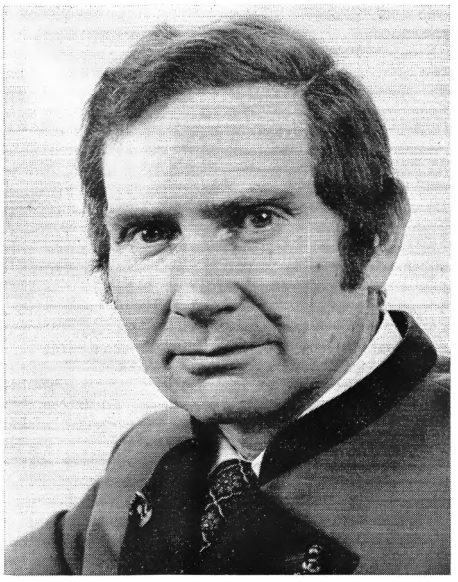
Titelbild:
Schnellbahntriebwagenzug 4020 der ÖBB.
Leistungsteil (2C-LUB) und Anker- und Feldstromregelung: Österreichische AEG-Telefunken.

Fachbeirat und Mitarbeiter:
Dipl.-Ing. Gerhard Baumgartner, BVFA-Arsenal; Hofrat Dipl.-Ing. Werner Czuba, Wien; Dipl.-Ing. Reimar Holzinger, ÖBB, Wien; Hofrat Dipl.-Ing. Dr. Roman Jaworski, Vorstandsdirektor der ÖBB, Wien; Hofrat Dipl.-Ing. Richard Rotter, Maschinendirektor der ÖBB, Wien; Dipl.-Ing. Dr. mult. Heinrich Sequenz, em. Professor der Technischen Universität Wien.

P. b. b. Erscheinungsort Wien

Verlagspostamt 1110 Wien

Standpunkt



Liebe Leser!

Nach guter Erholung im Urlaub können wir uns heute unbedenklich an zwei eher theoretische Themen wagen, die gewissermaßen Marksteine in der fortschreitenden Technik der Triebfahrzeuge darstellen: einerseits die erfolgreiche Lösung des mit dem Einzug der Stromrichtertechnik verbundenen Blindstromproblems am Beispiel der Steuerung der Schnellbahnzüge Reihe 4020 der Österreichischen Bundesbahnen, anderseits die rechnerische Erfassung der Umstände, die seinerzeit beim Einsatz der ersten Thyristorlokomotiven der Reihe 1043 der ÖBB zu aufsehenerregenden Achsbrüchen führten, die aber, wie inzwischen nachgewiesen, keineswegs nur auf diese Antriebstechnik beschränkt bleiben.

Nach dieser etwas schwierigeren Kost hoffen wir, Ihnen im nächsten Heft, das dem öffentlichen Nahverkehr gewidmet sein wird, Interessantes über die neuen achtachsigen Gelenktriebwagen der Wiener Lokalbahnen (Badner Bahn) und über den eisenbahntechnischen Ausbau der Wiener U-Bahn berichten zu können.

Bis dahin empfiehlt sich bestens

Ihr sehr ergebener

P. Sokob

Termine

21.—30. 9. 1980, Warschau:
INTERWAG '80

23.—24. 9. 1980, Paris:
ORE — Internationales Kolloquium „Elektronische Systeme"

10.—12. 10. 1980, Wels:
TRANSPORT WELS '80

6.—12. 11. 1980, München:
ELECTRONICA — Fachmesse für Bauelemente und Baugruppen der Elektronik

12. und 13. 11. 1980, Magdeburg:
Fachtagung zum Thema „Ökonomische Materialverwendung im Verkehrswesen"

15.—24. 9. 1981, Hannover:
Internationale Werkzeugmaschinenausstellung
Weltausstellung für Metallbearbeitungstechniken

27. 9.—2. 10. 1982, Madrid:
XXIII. Tagung der Internationalen Eisenbahn-Kongreß-Vereinigung
Siehe Veranstaltungsvorschau

Bitte auf eine Postkarte kleben
Ich bestelle ein
JAHRESABONNEMENT
der Zeitschrift
„EISENBAHNTECHNIK"
zum Sonderpreis von
S 185,—

Thyssen Henschel

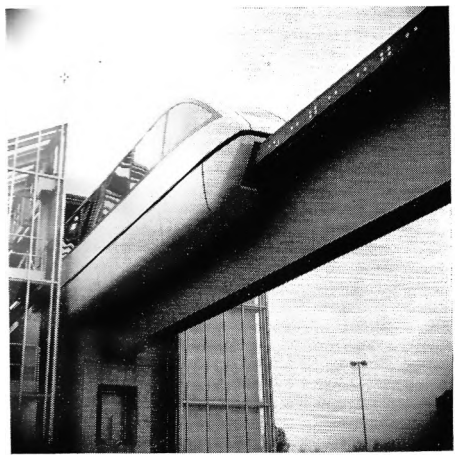
als internationaler Partner der Verkehrswirtschaft hat mit zahlreichen Entwicklungen den Lokomotivbau der Welt maßgeblich beeinflußt. Neue Lokomotivtechnologien, wie die von Thyssen Henschel gemeinsam mit BBC entwickelte Drehstromleistungsübertragung, wurden zu einem Wendepunkt im modernen Schienenverkehr.

Die Lokomotiven, System Henschel-BBC-DE 2500, haben längst bei umfangreichen Versuchs- und Meßfahrten und im schweren Güter- und Personenzugdienst bei der Deutschen Bundesbahn ihre Bewährungsprobe bestanden. Einfache und wartungsarme Auslegung des mechanischen Teils, neuartige Drehgestelle, elektronische Bauelemente für Steuerungen und Leistungsübertragung sowie die Verwendung von Asynchron-Fahrmotoren sind wesentliche Merkmale dieser Lokomotiven.

Dieselelektrische Lokomotive, Baureihe 202 der DB

Die Vorteile der Drehstromleistungsübertragung haben sich durchgesetzt, und elektrische und dieselelektrische Lokomotiven für unterschiedliche Einsatzbedingungen, die bei zahlreichen Bahngesellschaften im Einsatz sind, bestätigen die universelle Anwendungsmöglichkeit der Drehstromleistungsübertragung. Diese Technologie ermöglichte es auch, die neue Lokomotivgeneration der Deutschen Bundesbahn, die Baureihe E 120, in idealer Weise als Universallokomotive sowohl für den Einsatz mit hohen Geschwindigkeiten im Reisezugdienst als auch mit hoher Dauerzugkraft im Güterzugdienst auszulegen.

Einen weiteren Schritt in die Zukunft des spurgebundenen Schnellverkehrs hat Thyssen Henschel mit der 1974 in Betrieb genommenen ersten Versuchsanlage der Welt für elektromagnetische Schwebetechnik mit Langstatorantrieb gemacht.


Versuchsfahrzeug für elektromagnetische Schwebetechnik

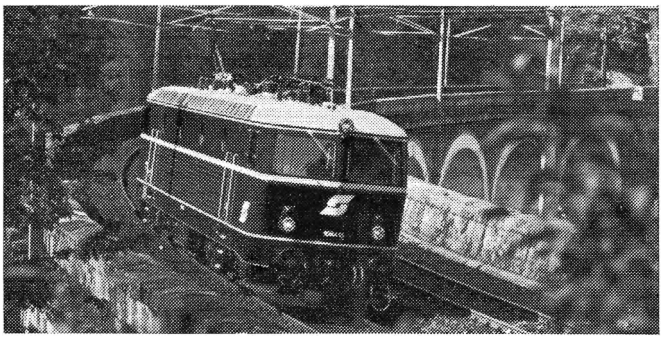
Frequenzthyristoren im Schwingkreisbetrieb

Selbstgeführte Stromrichter mit Schwingkreislöschung gewinnen immer mehr an Bedeutung, da im Vergleich zu solchen mit Umschwinglöschung neben oftmals besserem Betriebsverhalten auch eine geringere Anzahl von Bauelementen erforderlich ist.

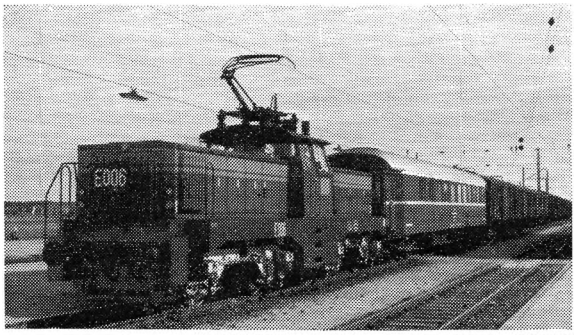
Eine solche Vereinfachung der Schaltung tritt dann ein, wenn rückwärts leitende Frequenzthyristoren mit monolithisch integrierter Diode eingesetzt werden können. Wechselnde Einsatzbedingungen verlangen jedoch eine angepaßte Auslegung von Thyristor- und Diodenteil des Elementes und führen dadurch zu unwirtschaftlich kleinen Losgrößen bei rückwärts leitenden Frequenzthyristoren. Daher wird die Parallelschaltung ihre Bedeutung behalten. Untersuchungen von AEG-Telefunken zeigten, daß dabei ein optimales Ausschaltverhalten nur dann erreicht wird, wenn ein schneller Thyristor und eine schnelle Diode in Scheibenbauform verwendet werden, die unmittelbar nebeneinander angeordnet werden, um die Induktivitäten in der Parallelschaltung auf ein Minimum zu bringen.

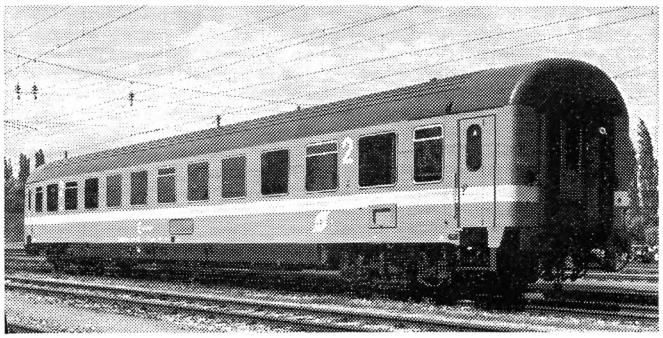
Zukunftsorientierte Technik

Federführende Projektierung der elektrischen Ausrüstung der neuen österr. Thyristorlokomotive der Reihe 1044.

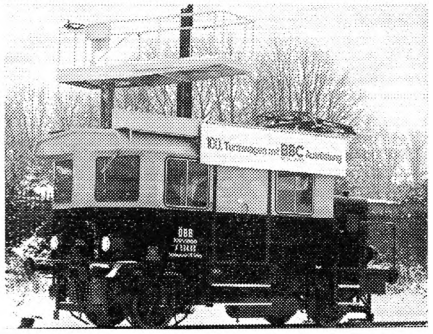


Elektrische Industrie-Fahrdraht-Lokomotive mit Leistungselektronik und Drehstrom-Asynchron-Fahrmotoren.





Vollklimatisierter, vierachsiger Reisezugwagen.



Motorturmwagen Rh X 534

U-Bahn-Doppeltriebwagen in Aluminium-Bauweise.

Unser weiteres Lieferprogramm umfaßt:
elektrische Triebwagenzüge, Lokomotiven für Gleich- und Wechselstrom, dieselelektrische Lokomotiven, Schnellbahnzüge, Sonderfahrzeuge, Heizausrüstungen und Klimaanlagen für Reisezugwagen.

Technik für eine lebenswerte Zukunft

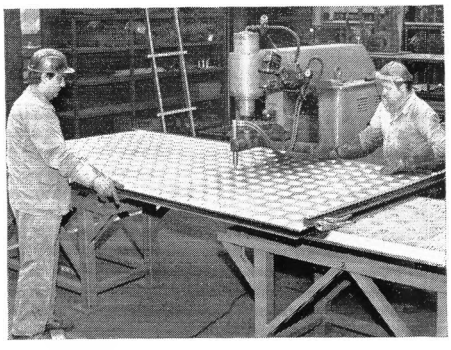
BBC
BROWN BOVERI

Oesterreichische Brown Boveri-Werke
Aktiengesellschaft
1101 Wien, Pernerstorfergasse 94

Für Hochleistungs-Schienenfahrzeuge: Neue Höckerplatte für Zellenbauweise

Beulfest, leicht, sicher, schalldämmend

Schnellere Lokomotiven der Zukunft müssen mit leistungsfähigeren und damit schwereren Antriebsaggregaten ausgerüstet werden. Da die Radsatzlasten schon heute an der zulässigen Grenze liegen, bedeutet dies, das Gewicht des Fahrgestells oder der Aufbauten (Mechanteilgewicht) zu re-

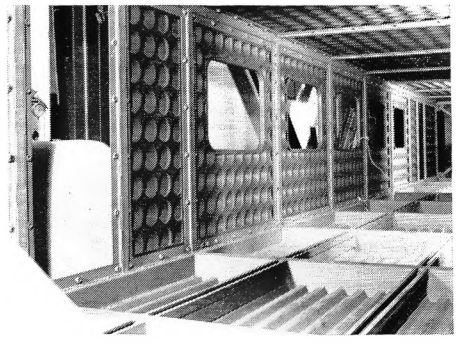


duzieren. Eingehende Untersuchungen ergaben: Gewicht läßt sich nur bei der Zelle, also dem Wagenkasten, sparen, ohne Einbuße an Festigkeit, Stabilität und damit Sicherheit. Innerhalb des Rad/Schiene-Forschungsvorhabens gehört die Entwicklung von Zellen für Hochleistungsfahrzeuge zu den Schwerpunktaufgaben von Krupp Industrie- und Stahlbau, Werk Essen.

Dieses Konzernunternehmen hat eine für den Zellenbau von Schienenfahrzeugen sehr wesentliche Neuentwicklung abgeschlossen: die Höckerplatte als Strukturkomponente. Sie besteht aus einem Höckerblech, in das im Rastermaß kalotten-, abgestumpfte kegel- oder pyramidenförmige Vertiefungen eingedrückt sind, und aus einem Flachblech. Nach dem Verschweißen der Spitzen bzw. der abschließenden Vertiefungsflächen im Höckerblech mit dem Flachblech entsteht die einfache Höckerplatte mit einseitiger glatter Oberfläche. Diese Einfachhöckerplatte läßt sich auch als gekrümmte Strukturkomponente fertigen. Die erste praktische Anwendung erfolgt in der neuesten Lokentwicklung für die Deutsche Bundesbahn und in Hochgeschwindigkeitsversuchsfahrzeugen im Rahmen des Rad/Schiene-Forschungsprogramms.

Die Vorteile der Höckerplatte liegen in der hohen strukturimmanenten Schub- und Beulfestigkeit und eignet sich daher bestens für eine Schalenbauweise. Außerdem kann man die Platte aus handelsüblichen Stahl- oder Aluminiumblechen bei niedrigen Kosten herstellen, und zwar als ebene oder gekrümmte und beliebig großflächige Bauteile. Größter Vorteil gegenüber dünnwandigen Bauelementen, die mit geradlinigen oder gekrümmten Versteifungen versehen sind: Die Höckerplatte läßt sich durch Variieren der Höckerhöhe und Wahl der Blechdicken optimieren je nach den Anforderungen an Festigkeit, Steifigkeit und Beulsicherheit. Damit vermeidet man die sonst üblichen nachteiligen Werkstoffkonzentrationen. Im Gegenteil: Ohne die Querschnittsgestaltung des jeweiligen Fahrzeugbereiches zu ändern, erreicht man exakt relativierbare Steifigkeitsunterschiede. Daraus resultiert wiederum, daß für den Abbau kinetischer Energien durch eventuelle Aufstöße für bestimmte Fahrzeugteile auch mehrstufige Formänderungszonen, sogenannte Knautschzonen, realisierbar sind. Das Ergebnis ist: noch mehr Sicherheit für den Lokführer oder, verwendet man diese neuartige Zellen-Leichtbauweise auch für Schnellzugwagen, für die Fahrgäste.

Zusätzlich kann man die Hohlräume der Höckerplatte mit wärme- und schalldämmendem Material füllen. Dies erhöht nicht nur die Beulsteifigkeit, sondern in erster Linie den Komfort für den Reisenden; denn es schützt ihn gegen Lärm, Sonneneinstrahlung oder im Winter gegen Kälte.



Blinkende LEDs fallen auf

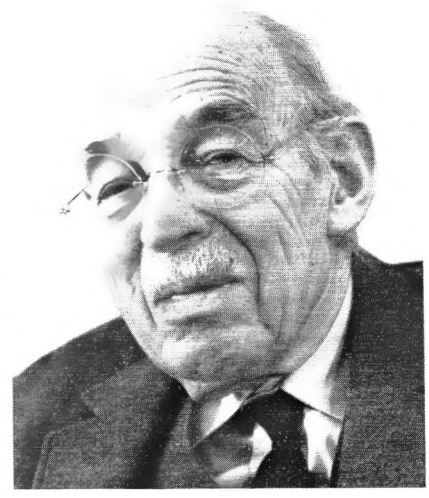
Die neuen, rotleuchtenden Lumineszenzdioden CQX 21 von AEG-Telefunken blinken im 3-Hz-Rhythmus. Sie sind überall dort einsetzbar, wo ein Signal auffallend erscheinen soll. Selbstverständlich sind solche Dioden auch in Gelb, Grün und Orange lieferbar.

Eine integrierte Blinkschaltung ist zusammen mit dem LED-Element in ein 5-mm-Gehäuse eingebaut.

Technische Daten:

Lichtstärke 1,6 mod, Verlustleistung 200 mW, Versorgungsspannungsbereich 4,75 V . . . 5,25 V, Stromaufnahme in der Hellphase 10 mA . . . 35 mA, in der Dunkelphase max. 1,2 mA.

Karl Sachs gestorben



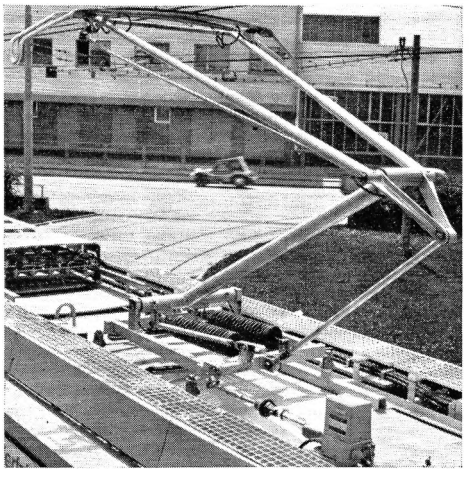
Am 16. April 1980 verstarb Prof. Dr. techn. Dr. techn. h. c. Dr.-Ing. E. h. Karl Sachs im 94. Lebensjahr. Mit ihm verlieren die auf dem Gebiet der Elektrotraktion tätigen Ingenieure und Techniker ihren Nestor. Wie bei kaum einem anderen war das Lebenswerk von Prof. Dr. Sachs aufs engste verbunden mit der Fortentwicklung der Technik der elektrischen Zugförderung. Seit dem Studium in Wien und Brünn und der Promotion in Brünn im Jahre 1911 hat er vor allem in der Schweiz, aber auch in Deutschland, bei einer Vielzahl von Elektrifizierungsvorhaben mitgewirkt und indirekt auch die Entwicklung der österreichischen Triebfahrzeuge beeinflußt. Als Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich von 1931 bis 1956 und an der Technischen Hochschule Wien von 1954 bis 1961 hat er sein Wissen an eine ganze Generation begeisterter Eisenbahningenieure weitergegeben. Einem großen Kreis von Ingenieuren ist er durch seine Veröffentlichungen, vor allem durch das Standardwerk „Elektrische Triebfahrzeuge", von dem die zweite Auflage noch im Jahr 1973 erschien, bestens bekannt.

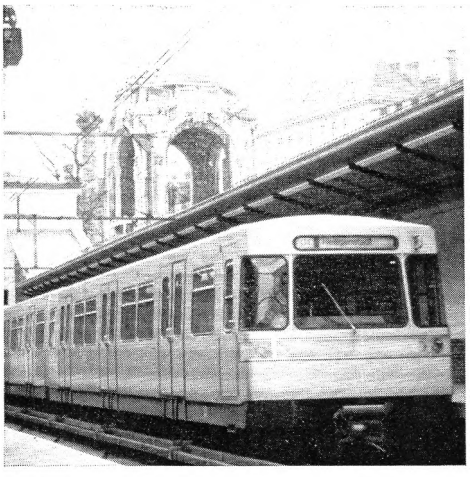
Wer Prof. Dr. Sachs selbst in den letzten Jahren in einem persönlichen Gespräch erlebte, wozu sich oft bei den Schienenfahrzeugtagungen in Graz Gelegenheit gab, war immer wieder neu überrascht, mit welcher Intensität er den Fortgang der Technik verfolgte und mit welcher Leidenschaft und Überzeugungskraft er, der brillante Redner, seine Zuhörer zu fesseln vermochte.

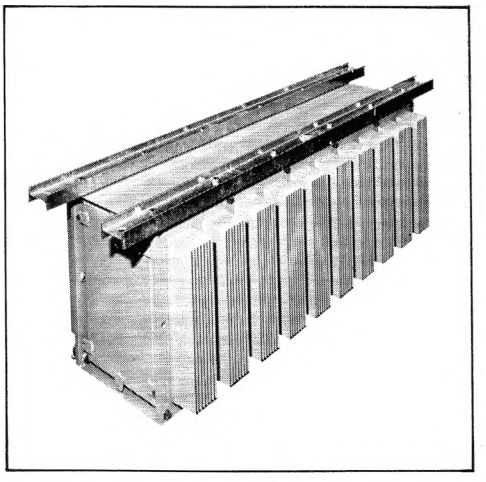
Herausgeber, Redaktion und Verlag der Zeitschrift „ebt" nehmen mit Trauer Abschied von diesem geistig und menschlich hervorragenden Mann.

SIEMENS

Siemens-Technik im Nahverkehr







Elektronische Steuerungen
Schaltgeräte
Statische Bordnetzumformer
Beleuchtungsanlagen
Fahrleitungen
Stromschienenanlagen
Weichenausrüstungen
Stromabnehmer
Signalanlagen
Sicherungseinrichtungen

E-157

Partner in allen Fragen des elektrischen Bahnbetriebes
Siemens Aktiengesellschaft Österreich

Zeitschriftenschau

Geplante Verbindung Moskaus mit dem Süden

Planungen für die erste größere Strecke der UdSSR, die für eine Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h ausgelegt werden soll, sind bereits weit fortgeschritten. Mit der Bezeichnung „Moskau-Süden" ist eine Neubaustrecke vorgesehen, die die Hauptstadt mit den Seebädern am Schwarzen Meer verbindet.

Die Notwendigkeit für die neue Strecke ergibt sich daraus, daß die bestehenden Verbindungen der Hauptstadt mit dem hochindustrialisierten Donetz-Becken und den großen Städten, wie Kharkov und Dnepropetrovsk, extrem überlastet sind. Nicht nur der Güterverkehr, sondern auch der Reisezugverkehr nehmen ständig zu. Nach vorliegenden Berechnungen wird sich die geplante Investition auszahlen, um so mehr, als die Planer erwarten, daß ein Drittel der heutigen Flugpassagiere auf die neue Bahn umsteigen wird. Dadurch könnten 700.000 Tonnen Öl jährlich eingespart werden.

Das Projekt „Moskau-Süden" läßt sich in vieler Hinsicht mit „Paris-Südosten" vergleichen. Während jedoch die französische Strecke nur mit dem Triebwagen (TGV) befahren wird, wollen die Sowjetischen Eisenbahnen auch Expreßgüterzüge mit Containern und auch verderblichen Gütern auf ihrer Strecke befördern. Streckenkapazität soll Vorrang vor hoher Geschwindigkeit haben, deshalb werden die Züge in den ersten Jahren auch kaum schneller als 200 km/h fahren.

Während im Einzugsbereich von Moskau eine vorhandene Strecke ausgebaut wird, beginnt beim 100 km weiter südlich gelegenen Serpukhov eine vollkommen neue Trasse (siehe Skizze), die fast genau in südlicher Richtung bis zu dem Knotenpunkt Belgorod verlaufen soll. Züge nach Kharkov werden hier die Neubaustrecke verlassen, die in Richtung Lozovaya, einem weiteren Knotenpunkt, verlaufen soll. Bei Lozovaya teilt sich die Strecke. Der westliche Zweig mündet in der Nähe von Tavrichesk in eine bestehende Strecke ein. Letztere wird bis Simferopol für Züge mit hoher Geschwindigkeit ausgebaut.

Der andere Zweig führt in einem Bogen nach Osten, wo er bei Martseva auf die Hauptstrecke nach Rostov trifft. Diese Strecke wird ebenfalls für höhere Geschwindigkeiten ausgebaut, und zwar über Rostov hinaus in südöstlicher Richtung bis Mineralny Vody und außerdem in südlicher Richtung bis Krasnodar und in Richtung auf Tuapse.

ETR 5/1980

Jugoslawische Staatsbahnen

Für den Betrieb auf den mit 25 kV/50 Hz elektrifizierten Strecken der Jugoslawischen Staatsbahnen liefern die Ganz-MAVAG in Budapest 46 dreiteilige elektrische Triebwagenzüge. Ein dreiteiliger Zug besteht aus zwei Steuerwagen und einem mittleren Triebwagen (Achsanordnung 2,2-Bo'Bo'-2,2). Die Achsen des Triebwagens werden von fremdbelüfteten compounderregten Mischstrom-Fahrmotoren angetrieben. Die Gesamtleistung beträgt 1200 kW, die Anfahrzugkraft 100 kN, die Dauerzugkraft 55 kN. Der Triebwagenzug ist für eine Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h ausgelegt. Er kann auch auf einer Steigung von 25 ‰ noch mit 70 km/h fahren. Auf der gleichen Neigung ist es möglich, im Gefälle die Fahrt mit der elektrischen Bremse konstant auf 60 km/h zu halten. Die elektrische Bremsleistung beträgt maximal 1100 kW, die maximale Bremskraft 55 kN. Unter einer Geschwindigkeit von 30 km/h schaltet die elektrische Bremse ab, die weitere Verzögerung sichert eine Luftbremse mit Jurid-Kunststoffbremsklötzen. Der Wagenzug verfügt über 2. Klasse und bietet 236 Sitz- und 230 Stehplätze.

Hamburger Blätter 3/1980

Technische Diagnostik bei den BDŽ

Die Bulgarischen Staatsbahnen (BDŽ) haben ein Programm für die breite Einführung der technischen Diagnostik bei den Diesel- und elektrischen Lokomotiven ausgearbeitet. Als erste Etappe ist der Ausbau der seit 1974 vorgenommenen Diagnosearbeiten bei Diesellokomotiven in ein Diagnosesystem vorgesehen. Diese Arbeiten basieren auf einer Kontrolle durch Spektralanalyse des Zustands und der Metallteilchen im Dieselmotoröl. In den nächsten Etappen ist die Einführung einer komplexen stationären Diagnostik der Lokomotiven geplant. Erwogen wird, die noch zu beschaffenden Triebfahrzeuge mit eingebauten Diagnose-Einrichtungen zu versehen.

DET 28 (1950), 6

Straßenbahnen und Lokomotiven für die UdSSR

Das tschechoslowakische Außenhandelsunternehmen Pragoinvest unterzeichnete ein Abkommen mit Machinoimport Moskau über die Lieferung im Jahr 1981 in die UdSSR, und zwar von weiteren 600 Straßenbahnwagen und 300 dieselelektrischen Lokomotiven ČME 3. Lokomotiven und Straßenbahnwagen führt die UdSSR seit einer Reihe von Jahren aus der ČSSR ein. Mit der Realisierung dieser Lieferungen übersteigt die Anzahl der in der UdSSR zuverlässig auch unter den anspruchsvollen Bedingungen im Einsatz stehenden Lokomotiven ČME 3 die Anzahl von 4500 Stück. Von den Straßenbahnwagen der Reihe T werden dann in 38 sowjetischen Städten mehr als 10.000 fahren. DET 28 (1950), 5

Seit 25 Jahren 50-Hertz-Gemeinschaft

Moderne elektrische Bahntechnik für aufstrebende Länder in aller Welt bieten seit nunmehr 25 Jahren namhafte Unternehmen der europäischen Industrie unter gemeinsamer Adresse: als „50-Hertz-Arbeitsgemeinschaft", zu der sie sich 1954 zusammengeschlossen haben.

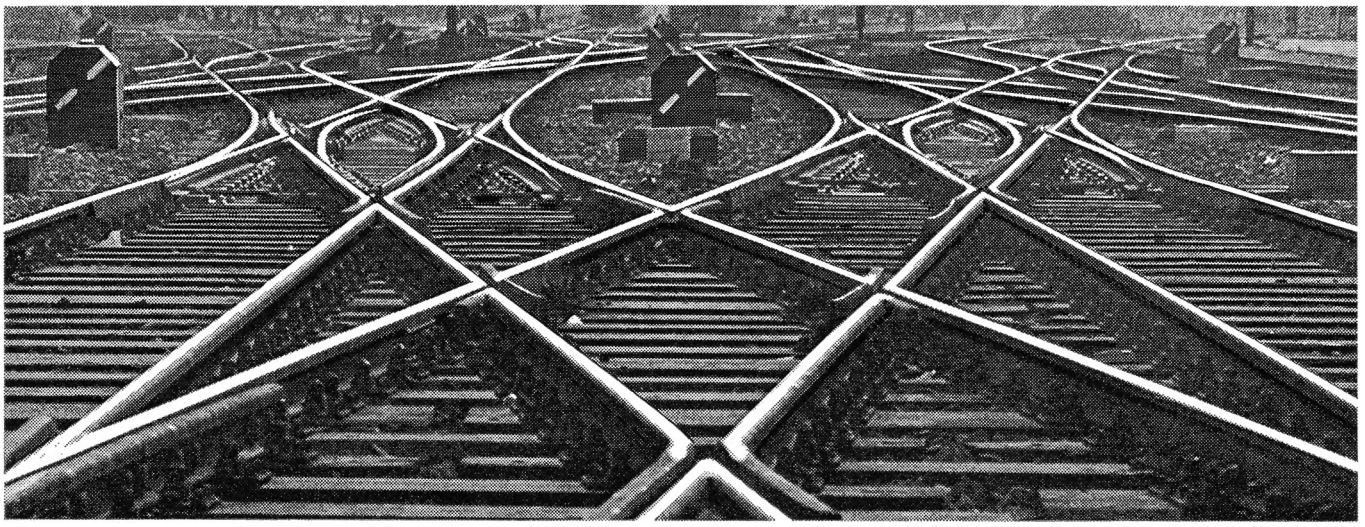
Die Bahnen in Deutschland, Österreich und der Schweiz sowie in Norwegen und Schweden fahren historisch bedingt mit Wechselspannung von 15.000 Volt und der gegenüber dem öffentlichen Netz auf ein Drittel reduzierten Frequenz von $16^2/_3$ Hertz. Seit Anfang der fünfziger Jahre ist es technisch besser möglich, mit der üblichen Wechselstromfrequenz der Landesnetze von 50 oder 60 Hertz auch Eisenbahnen zu betreiben. Um sich einen angemessenen Exportanteil auch in diesen Ländern zu sichern, vereinbarten zunächst sechs Unternehmen aus der Bundesrepublik, aus Frankreich und der Schweiz, entsprechende Projekte künftig nicht mehr in eigenem Namen, sondern nur noch gemeinsam zu verfolgen.

Während in den Ländern der EG sowie in den USA einem derartigen Kartell gesetzliche Beschränkungen auferlegt sind, konnte die 50-Hertz-Arbeitsgemeinschaft in der gesamten übrigen Welt mehr als zwei Drittel aller für die Bahnelektrifizierung mit 50 oder 60 Hertz vergebenen Aufträge gewinnen und damit 1525 Gleiskilometer mit Fahrleitungsanlagen, Unterwerken sowie Signal- und Fernmeldeeinrichtungen ausrüsten und außerdem 860 Lokomotiven und Triebwagen oder deren elektrische Ausrüstung liefern. Erst kürzlich ging ein neuer Auftrag der Staatsbahnen Costa Ricas im Wert von 52 Millionen Mark an die Arbeitsgemeinschaft unter Federführung von AEG-Telefunken. Damit soll die am Atlantik entlangführende, rund 100 Kilometer lange „Bananenstrecke" mit 25.000 Volt und 60 Hertz elektrifiziert werden.

Neben AEG-Telefunken und Siemens in der Bundesrepublik gehören heute Alsthom-Atlantique und die Societe MTE in Frankreich, Brown, Boveri & Cie. in der Schweiz sowie die belgische ACEC in Charleroi der Arbeitsgemeinschaft an.

Die Bundesbahn 1/1980

Komplexe Problemlösungen kommen von ITT Austria



z. B. Spurplanstellwerke der Bahn

...zur elektrischen Steuerung der Weichen und Signale in den Bahnhöfen. Oder die automatischen Blockanlagen auf den Strecken. Alles für mehr Sicherheit und Komfort auf der Bahn. Entwickelt von Ingenieuren und Technikern der ITT Austria und gefertigt in Österreich. ITT Austria liefert die computergesteuerte Betriebsanlage für die Wiener U-Bahn. Weiters kommen von ITT Austria Telephonzentralen für das Netz der Post, Telephonanlagen für Industrie und Verwaltung, Fernschreiber, Fernkopierer, Bildschirmtextgeräte, Datenterminals und Regelzentralen für die Klimatechnik.
ITT Austria, Dresdner Straße 75, 1200 Wien.

Österreichische Eisenbahnsicherungstechnik von ITT Austria

ITT

HARTSTEINWERKE PREG

BRANDNER & LIPP

Alle Arten von Schotter
für den Oberbau der ÖBB
Edelsplitt für Asphaltstraßen
Edelsande, Betonschotter
Wasserbausteine
Kalt- und Heißmischgut
Vor- und Hauptfiltersande
für Strahl- und Luftschutzbauten

Zentrale: **8011 GRAZ, Freiheitsplatz 1, Tel. (0 31 6) 71 6 66 (67)**
Werk: **PREG, 8715 St. Lorenzen b. Knittelfeld,**
Tel. Kraubath (0 38 32) 22 15 und 23 49

Dipl.-Ing. W. Zimmer, Wien,
Ing. grad. R. Ludwig, Berlin,
Ing. grad. H. Niehage, Berlin

Die Stromrichterausrüstung der Triebwagenzüge Reihe 4020 der ÖBB

1. Einleitung

Als die Österreichischen Bundesbahnen im Jahre 1975 darangingen, für die bewährte Triebwagenreihe 4030 einen modernen und zeitgemäßen Nachfolger zu entwerfen, war die erste Energiekrise als Mahnung gerade erst vorbeigegangen. Es war daher naheliegend, daß neben den volkswirtschaftlichen Prämissen für einen öffentlichen Nahverkehr, wie Kostenersparnis, Lösung von Parkplatzproblemen und Sicherheitsaspekte, besonders die Energieersparnis im Vordergrund stand.

Da in Ballungsgebieten die Benützung des öffentlichen Nahverkehrs dem einzelnen gegenüber der Autobenützung nicht nur persönliche Ersparungen bringt, sondern auch erheblich zur Energieersparnis beiträgt, was sich in Österreich auch in der Handelsbilanz auswirken würde, da Rohöl fast ausschließlich durch Import gedeckt werden muß, sind Fahrzeuge mit guter Energieausnützung notwendig.

Im Zuge der Bestrebungen der ÖBB, auch diesem Reisepublikum ein attraktives Fahrzeug anzubieten, mit möglichst ruckfreien Fahrzeugbewegungen, das heißt gleichmäßiges Anfahren und Bremsen, fiel die Wahl bei Festlegung der Fahrzeugsteuerung auf eine Thyristorsteuerung.

Solche Thyristorsteuerungen haben die Eigenschaft, daß sie einen erheblichen Blindstrom benötigen. Dieser Blindstrombedarf muß aber, entgegen seinem Namen, gedeckt werden und stellt in den Fahrleitungen einen echten Strom dar, der nicht nur in den Kraftwerken aufgebracht werden muß, sondern in den Übertragungs- und Fahrleitungen zusätzliche Verluste hervorruft. Damit muß mehr Energie zur Verfügung gestellt werden, als die Fahrzeugbewegung für sich allein benötigen würde.

In dieser Erkenntnis und im Bewußtsein, mit vorhandener Energie sparsam umgehen zu müssen, um den öffentlichen Verkehr weitestgehend sicherstellen zu können, haben sich die ÖBB — abgesehen von der Kosteneinsparung durch nicht vorhandene Übertragungsverluste — entschlossen, eine zum Zeitpunkt der Projektierung bereits einsatzreif entwickelte, blindstromarme Thyristorschaltung, die **l**öschbare **u**nsymmetrische **B**rückenschaltung (LUB), einzusetzen.

Die Schaltung ermöglicht eine Energieeinsparung von etwa 10 % gegenüber bis dahin bekannten Stromrichterschaltungen. Ohne den folgenden Ausführungen, die diese spezielle Einrichtung der Triebwagenreihe 4020 der ÖBB beschreiben werden, vorzugreifen, sei festgestellt, daß die später mit den Triebwagen stattgefundenen Meß- und Vergleichsfahrten die Überlegungen der ÖBB und damit auch die für Bahnen mit Wechselstromtraktion richtungsweisende Entscheidung der ÖBB voll bestätigt haben.

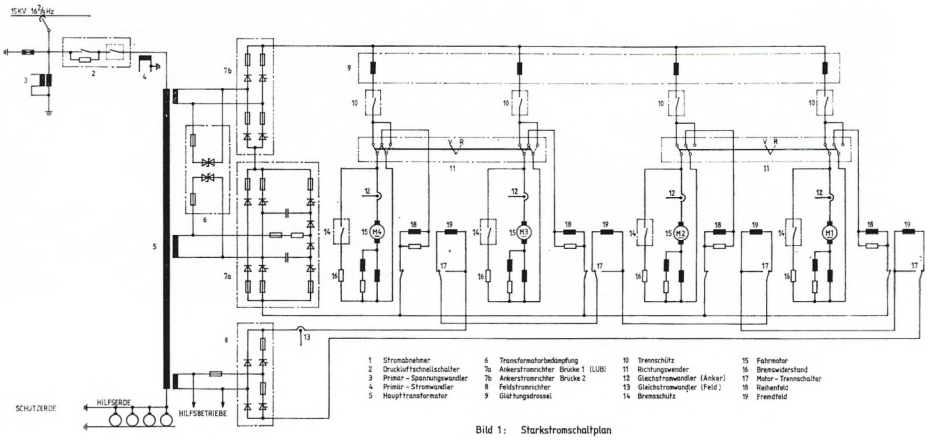


Bild 1: Starkstromschaltplan

Diese neuen dreiteiligen Schnellbahntriebwagen der Reihe 4020 der ÖBB gelangten Anfang 1979 im Tiroler Raum erstmalig zum Einsatz und werden nunmehr in großer Stückzahl im Wiener Schnellbahnnetz eingesetzt.

Bei der Entwicklung dieses Fahrzeuges wurden der Österreichischen AEG-Telefunken die Auslegung der Stromrichter mit zugehöriger Steuerung übertragen.

Dies umfaßt:

a) Leistungsteil mit eingebauter LUB (**L**öschbare **U**nsymmetrische **B**rückenschaltung in der 1. Stromrichterbrücke).

b) Steuer- und Regelteil für den Anker- und Feldstromrichter im Fahr- und Bremsbetrieb.

Die gewählte Stromrichterschaltung erfordert ein Minimum an Schaltkontakten in den Starkstrom-Kreisen und kommt den Wünschen des Kunden nach geringem Wartungsaufwand entgegen. Gleichzeitig erfüllt eine derartige Steuerung durch stufenlose Verstellbarkeit der Motorspannung die heutigen Komfortansprüche im Nahverkehr nach ruckfreier Anfahrt bzw. Bremsung.

Die Entscheidung der ÖBB, in diese Triebzüge eine LUB-Steuerung einzubauen, obwohl die Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit nicht erlaubte, einen Prototyp zu bauen, wurde durch die von AEG-Telefunken gesammelten Erfahrungen auf anderen Triebfahrzeugen begünstigt.

2. Starkstromausrüstung

Der dreiteilige Triebzug wird durch vier Mischstrommotoren mit gemischter Erregung (Reihen- und Fremderregung) angetrieben.

Die Dauerleistung je Motor beträgt 300 kW bei einer Motornennspannung von 850 V und einem Dauerstrom von 380 A. Die Belüftung erfolgt kombiniert (Eigen- und Fremdbelüftung), wobei die Kühlluft vom Dach her angesaugt wird. Als Zusatzlüfter wurden Radiallüfter verwendet, entsprechend der Bauart, wie sie vom Triebzug 4030 her bekannt sind.

Gemäß der Fahrzeugaufteilung Triebwagen — Mittelwagen — Steuerwagen befinden sich die beiden Stromrichterbrücken im Triebwagen (Unterfluraufhängung).

Nach Auslegung von AEG-Telefunken wurde entsprechend einer vereinbarten Lieferaufteilung bei diesem Fahrzeug die netzkommutierte Gleichrichterbrücke „2" einschließlich des Feldgleichrichters von der Firma Siemens, die selbstkommutierende LUB-Stromrichterbrücke „1" von der Österreichischen AEG-Telefunken (ÖAT) gebaut.

Die beiden in Reihe geschalteten Brükken speisen alle vier parallel an einer Sammelschiene liegenden Fahrmotoren und wurden für folgende Daten ausgelegt:

Nenngleichspannung	850 V
Nenngleichstrom	1520 A
Anfahrstrom	2280 A

Die thermische Belastung der Halbleiterelemente wurde — wie in solchen Fällen üblich — mit einem Rechnerprogramm ermittelt. Der Berechnung liegt das schwer-

ste im Einsatzgebiet des Triebzuges vorkommende Lastspiel zugrunde. Das Ergebnis ist in Abbildung 2 am Beispiel eines Hauptthyristors der ersten Brücke dargestellt.

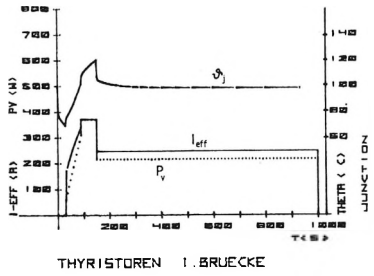


Bild 2: Beispiel einer thermischen Auslegung

Die Brücken sind mit Flachbodenzellen bestückt und werden forciert belüftet. Hierzu wird die Kühlluft von einem hinter dem Gleichrichtergestell liegenden Radiallüfter aus dem Dachraum angesaugt und über die hinter dem Lüfter eingebaute Glättungsdrossel abgeführt.

Zum Schutz gegen transiente Überspannungen liegt parallel zu den Transformatorsekundärwicklungen je eine Transformatorbedämpfung, bestehend aus Selen-Überspannungsbegrenzern.

Die für die LUB-Stromrichterbrücke benötigten Kommutierungskondensatoren sind in einem Unterflurgehäuse in der Nähe des Gleichrichtergestells montiert.

Der Transformator mit einer Leistung von 1450 kVA hat zwei Sekundärwicklungen (Leerlaufspannung 550 V), an die je eine Gleichrichterbrücke angeschlossen ist. Eine dritte Wicklung dient zur Speisung der Hilfsbetriebe (200 V) und des Feldgleichrichters.

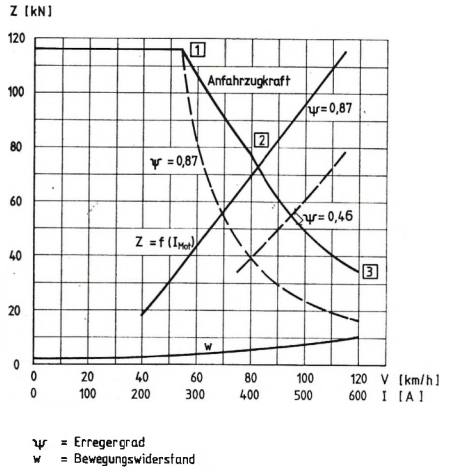


Bild 3: Zugkraftdiagramm

Als elektrische Bremse wurde für den Triebzug 4020 eine fremderregte Widerstandsbremse gewählt. Hierbei arbeitet jeder Fahrmotor auf einen eigenen Bremswiderstand.

Der Feldgleichrichter ist ebenfalls in halbsteuerbarer unsymmetrischer Brückenschaltung ausgeführt. Beim Fahr- und Bremsbetrieb versorgt er die vier in Reihe liegenden Fahrmotorfelder.

3. Kennlinien

Die Anfahrzugkraft von 114 kN (Abb. 3, Anfahrstrom 570 A je Motor) gestattet bei einem Fahrzeugleergewicht von 129 t bis zum Erreichen der vollen Motorspannung — Kennlinienpunkt 1 — bei etwa 57 km/h eine Anfahrbeschleunigung von zirka 0,72 m/s². Ab dieser Geschwindigkeit wird durch stetige Feldschwächung bei konstantem Ankerstrom die Leistung konstant gehalten, bis bei etwa 85 km/h ein kleinster Erregergrad von 0,46 erreicht ist. Der verbleibende Fremdfeldstrom beträgt im Kennlinienpunkt 2 zirka 22,5 A (siehe hierzu Abb. 14).

Bei 120 km/h beträgt die Zugkraft 33 kN. Einzelheiten zur Funktionsweise der Feldschwächregelung sind unter Punkt 8 „Steuerung und Regelung" angegeben.

Beim elektrischen Bremsen wird aus der Bremselektronik ein Bremskraftsollwert vorgegeben, dem die Regelung nach der Regelgleichung $I_A \cdot \phi$ const. folgt.

Begrenzt wird die elektrische Bremskraft (ED) durch die maximal zulässigen Stromwerte der Fahrmotoren mit $I_{A\,max} = 550$ A und $I_{E\,max} = 100$ A.

Wie dem Bremskraftdiagramm (Abb. 4) zu entnehmen ist, beträgt die maximale elektrische Bremskraft 100 kN, die maximale Bremsverzögerung mit pneumatischer Zusatzbremse beträgt zirka $b_{br} = 1{,}3$ m/s².

4. Löschbare Unsymmetrische Brückenschaltung

Wie der Abbildung 5 zu entnehmen ist, arbeitet die Gleichrichterbrücke 1 nach dem Prinzip der 2C-LUB. Jedem Hauptthyristorzweig ist eine Löscheinrichtung, bestehend aus Löschthyristoren, Löschkondensatoren, Ladewiderstand und Ladedioden, zugeordnet.

Des weiteren ist berücksichtigt, daß die beim Löschen im Wechselstromkreis vorhandene magnetische Energie in eine entsprechende kapazitive Speicherladung umgesetzt werden kann. Hierbei darf die Kondensatorspannung den Maximalwert von 1100 V nicht überschreiten. Erreicht wird dieses mit einer Kapazität von $4 \times 550\,\mu$F je Löschzweig und einer Begrenzung des Löschwinkels.

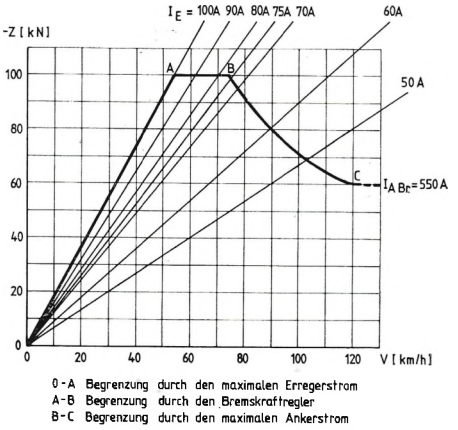


Bild 4: Bremskraftdiagramm

Wirkungsweise und Ergebnis der LUB-Schaltung

Vordringlich geht es beim Einsatz der LUB-Schaltung um die Verminderung der Blindleistungsaufnahme des Fahrzeuges, das heißt um die Verbesserung des Leistungsfaktors. Die Ursachen der Blindleistungsaufnahme von Triebzügen mit Thyristorstromrichtern lassen sich wie folgt aufgliedern:

1. Steuerblindleistung des Thyristorstromrichters
2. Kommutierungsblindleistung durch die Netzspannung
3. Verzerrungsblindleistung durch nicht sinusförmigen Strom
4. Blindleistungsaufnahme der Hilfsbetriebe

Der größte Anteil entfällt auf die Punkte 1 und 2.

Steuerblindleistung entsteht durch das gegenüber dem Spannungsnulldurchgang

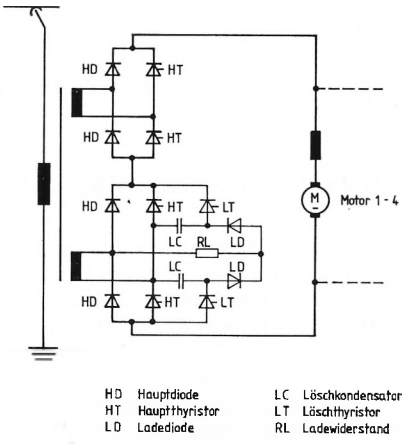


Bild 5: Folgeschaltung mit LUB

verzögerte Einschalten der Thyristoren. Die Grundschwingung des Stromes ist gegen die der Spannung nacheilend. Die Steuerblindleistung wird in der konventionellen Technik durch den Einsatz von halbsteuerbaren unsymmetrischen Brückenschaltungen vermindert. Die Aufteilung auf zwei Gleichrichter in Serienschaltung mit Folgesteuerung für jeweils die halbe Motorspannung ist ein weiterer Schritt zur Verminderung der Steuerblindleistung.

Gelingt es, die Grundschwingung der Stromhalbwelle mit der Spannungshalbwelle besser in Phase zu bringen, so vermindert sich die Steuerblindleistung entscheidend [1]. Mit einem LUB-Stromrichter ist es möglich, die Stromhalbwelle in der Weise vorzuverlagern, daß durch gezielte Kondensatorentladung der Strom im Wechselstromkreis vor dem Erreichen des Spannungsnulldurchganges gelöscht werden kann. Vergleicht man LUB-Betrieb und konventionellen Betrieb, so muß unter Erhalt der gleichen Ausgangsspannung am Stromrichter die Aussteuerung im LUB-Betrieb — wegen der fehlenden Spannungszeitfläche am Ende der Halbwelle — vorverlegt werden.

Kommutierungsblindleistung, die zweite wichtige Komponente in der Blindleistungsbilanz, entsteht dann, wenn der Strom unter dem Einfluß einer Spannung von einem Stromrichterzweig auf einen anderen Zweig wechselt. Dieser Wechsel vollzieht sich wegen der Impedanzen im Wechselstromkreis nur relativ langsam. Auf Wechselstromfahrzeugen ergeben diese Zeiten entsprechende Kommutierungswinkel von 35° bei $\alpha = 0^0$ (Vollaussteuerung) und maximalem Anfahrstrom. Um diese 35° eilt der Stromnulldurchgang dem Spannungsnulldurchgang nach.

Mit der LUB gelingt es, die Nacheilung zu verhindern. Durch die gezielte Löschung des Thyristorstromes, durch die Kondensatorentladung, ist der Laststrom bereits vor dem Spannungsnulldurchgang auf den Diodenzweig kommutiert (Freilauf), während die Kommutierung vom Diodenzweig auf den Thyristorzweig beim Zünden der nachfolgenden Hauptthyristoren vom Netz geführt bleibt.

5. Steuerverfahren der LUB

Im vorstehenden Abschnitt wurde die Entstehung von Blindleistung und deren Verminderung beschrieben. Im folgenden soll das in der Anlage des Triebzuges 4020 der ÖBB gewählte Steuerverfahren für den LUB-Stromrichter erläutert werden.

Die Festlegung des Steuerverfahrens erfolgt im wesentlichen nach den Anlagendaten. Zu beachten sind dabei:

a) der angestrebte Leistungsfaktor,
b) der maximale Gleichstrom beim Anfahren sowie die Welligkeit des Gleichstromes,
c) die Daten des Triebzugtransformators (Übersetzung und Streuinduktivität),

Im Punkt (3) ist die größtmögliche Gleichspannung erreicht.

Der Winkel β beträgt zwischen den Punkten (1) und (2) 56° (Grenzwert für die zulässige Kondensatorspannung), im Punkt (3) ist $\beta = 40^0$.

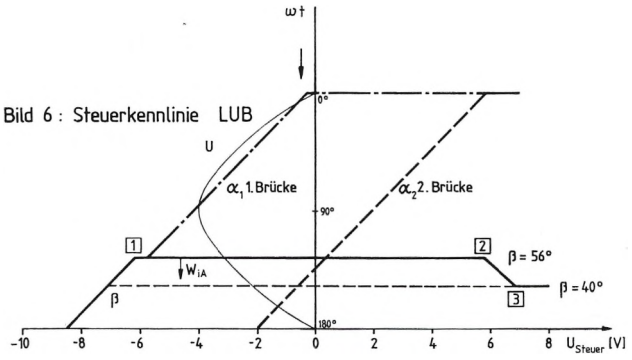


Bild 6 : Steuerkennlinie LUB

d) die zulässige Spannungsbeanspruchung der Halbleiter und der Kommutierungskondensatoren,
e) die Freiwerdezeit der Hauptthyristoren,
f) der noch akzeptierbare psophometrische Störstrom.

Sind diese Werte für die Anlage bestimmt, erfolgt mit einem Rechnerprogramm die Optimierung der Kommutierungskondensatoren sowie die Festlegung des Stellbereiches für den Löschwinkel.

In der beschriebenen Anlage wurde als optimale Lösung die in der Abbildung 6 dargestellte Steuerkennlinie gefunden.

Die Steuerspannung zur Verschiebung der Zündimpulse hat den Ausgangswert —10 V (beide Stromrichter gesperrt). Ändert sich die Steuerspannung in Richtung 0 V, so wird der Zündwinkel der Löschthyristoren vorverlegt (Anfahren über die Löschthyristoren). Bei (1) hat der Winkel β seine maximale Lage erreicht. Bei weiterer Steigerung der Steuerspannung beginnt die Zündung der Hauptthyristoren in der ersten Stromrichterbrücke über den Zündwinkel α_1, der Löschwinkel β bleibt konstant. Bei 0 V Steuerspannung ist die erste Stromrichterbrücke voll ausgesteuert, $\alpha_1 = 0^0$. Bereits bei —2 V liegt der Beginn der Aussteuerung der zweiten Stromrichterbrücke (Überlappung). Im Punkt (2) ist die zweite Brücke voll ausgesteuert, eine weitere Erhöhung der Steuerspannung nimmt den Löschwinkel β wieder geringfügig zurück, um mit steigender Gleichspannung die Grenzspannung der Löschkondensatoren nicht zu überschreiten.

6. Vorausberechnete und gemessene Werte im Leistungskreis

6.1. Leistungsfaktor

Wie beschrieben, wird die Stromrichteranlage u. a. nach dem angestrebten Leistungsfaktor optimiert. Das hierbei rechnerisch ermittelte Ergebnis zeigt die Abbildung 7. Diese Berechnung wurde für eine Primärspannung von 17,25 kV durchgeführt.

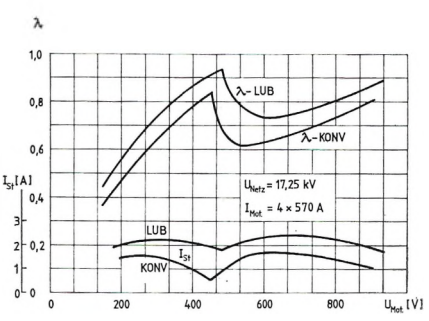


Bild 7: Vorausberechnung von λ und $I_{Stör\,(psophom.)}$

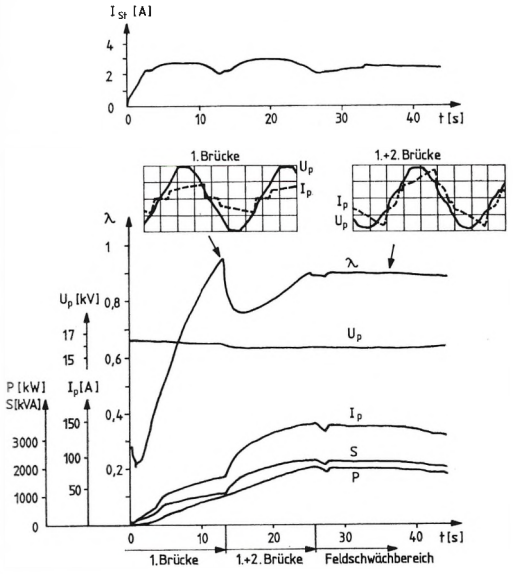


Bild 8: Meßwerte mit LUB - Betrieb während einer Anfahrt

Im Vergleich dazu stehen die Meßergebnisse in Abbildung 8. Diese bestätigen die Berechnungen; bezüglich des Leistungsfaktors werden die rechnerischen Werte noch geringfügig übertroffen. Zur Verdeutlichung des LUB-Einflusses wurden, unter den gleichen Betriebsbedingungen wie oben, die Meßwerte im konventionell gesteuerten Betrieb (LUB ausgeschaltet) aufgenommen (Abb. 9). Der Gewinn im Leistungsfaktor durch die LUB-Steuerung beträgt 11 Punkte oder 14 % ($\lambda = 0{,}91$ statt 0,8), wobei jedoch noch besonders auf die Wirkung der LUB, gerade im langgestreckten Feldschwächbereich sowie bei Teillasten hingewiesen werden soll. Dies schlägt sich auch in einer deutlichen Verminderung des vom Triebzug aufgenommenen Primärstromes I_P über den gesamten Bereich nieder.

6.2. Psophometrischer Störstrom

Der psophometrische Störstrom I_{st} wird — wie erwartet — im LUB-Betrieb etwas größer als im konventionellen Betrieb. Der Grund hierfür liegt in der bei LUB-Betrieb steiler abfallenden Stromflanke des Netzstromes. Der Unterschied beträgt maximal 0,7 A. In dieser Anlage sind die erreichten 2,8 A Störstrom ein noch akzeptierter Wert, der sich jedoch bei Notwendigkeit mit geeigneten Maßnahmen, wie Saugkreisen, vermindern läßt.

6.3. Analyse des Primärstromes I_1 bis I_9

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen die Analyse bis zur 9. Oberschwingung. Außer der zu erwartenden Absenkung bei der Grundwelle des Stromes ist durch den Einsatz der LUB auch die 3. Oberwelle im Aussteuerungsbereich der 2. Brücke vermindert worden. Die 7. und 9. Oberschwingung wird dagegen durch den LUB-Betrieb geringfügig angehoben.

6.4. Wirkungsgrad

Für die Beurteilung der Qualität eines Stromrichterantriebes ist u. a. auch der mit ihr erzielbare Wirkungsgrad ein Kriterium. Hier wurde im Kennlinienpunkt 1 (siehe Abb. 3) bei v = 55 km/h eine Zugkraft von 114 kN ermittelt. Die in diesem Betriebspunkt aufgenommene Wirkleistung, gemessen am Stromabnehmer, betrug 1920 kW, das ergibt einen Wirkungsgrad zwischen Stromabnehmer und Treibrad von:

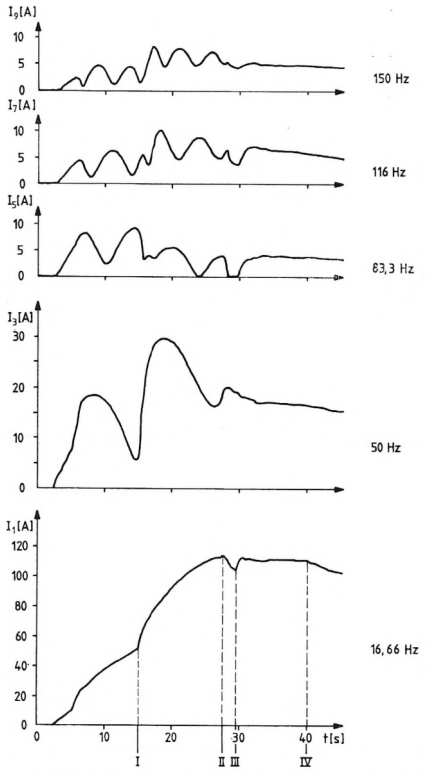


Bild 10: Analyse des Netzstromes mit LUB-Betrieb

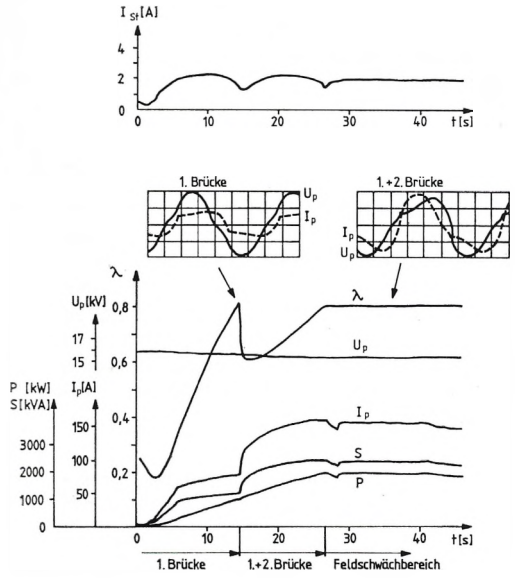


Bild 9: Meßwerte ohne LUB - Betrieb während einer Anfahrt

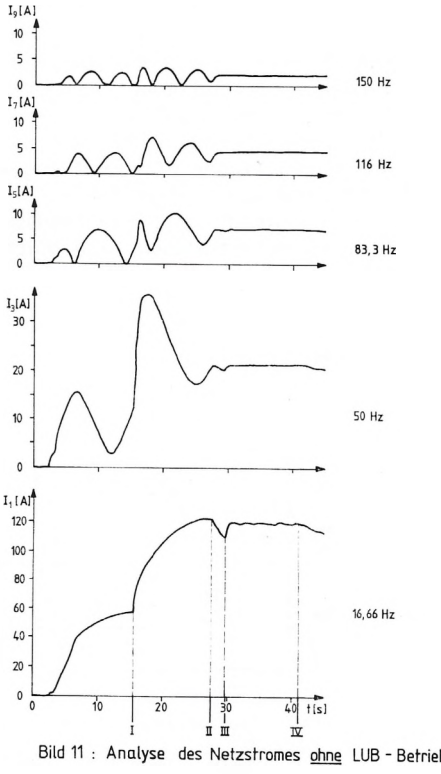


Bild 11: Analyse des Netzstromes ohne LUB - Betrieb

$$\eta = \frac{P2}{P1} \qquad \begin{matrix} P1 = 1920\ kW \\ P2 = \frac{114 \cdot 55}{3600} = 1741\ kW \end{matrix}$$

$$\eta = \frac{1741}{1920} = 0{,}91$$

Das Produkt Wirkungsgrad × Leistungsfaktor sollte bei Vergleichen von Stromrichterausrüstungen der Maßstab zur Bewertung sein, ein Leistungsfaktor von 1, erreicht mit einer Verschlechterung des Wirkungsgrades, stellt keine Verbesserung der Ausrüstung dar. Hier würden höhere Investitionen keine Einsparungen bei der Energieaufnahme erbringen.

7. Steuer- und Regelschrank

Die gesamte Steuerung und Regelung für die Fahrmotorstromrichter ist im mechanischen Aufbausystem INTERMAS aufgebaut. Der Einbau erfolgte in ein Schrankgestell, das aus zwei Bauebenen besteht und staubdicht gegen die Umwelt abgeschlossen ist.

In der ersten Bauebene befinden sich zwei voneinander getrennte Dreheinsätze. Im oberen Dreheinsatz sind Anker- und Feldstromregelung einschließlich der Impulsbildung und der Impulsendstufen untergebracht.

Der untere Dreheinsatz dient zur Aufnahme der EP-Bremsregelung (Oerlikon) und der beiden Baugruppenträger für den Sollwertumsetzer und die automatische Fahr- und Bremsregelung (Siemens).

In der zweiten Bauebene befinden sich die Bauteile zur Erfassung der Regelgrößen, Spannungsversorgungen und Hilfstransformatoren. Die Verlustwärme wird über eine interne Umluftkühlung in Verbindung mit einem in der Rückwand angebrachten Wärmetauscher abgeführt.

Um eine einwandfreie Funktionsweise der Elektronik sicherzustellen, wird durch eine Temperaturüberwachung die Schrankinnentemperatur kontrolliert. Diese wird in zwei Stufen wirksam.

a) Bei Erreichen einer Schrankinnentemperatur von +58° C erhält der Triebwagenführer eine Meldung auf dem Führertisch.
b) Steigt die Temperatur jedoch auf einen für die elektrischen Bausteine nicht zulässigen Wert von +78° C an, wird die Spannungsversorgung für die Elektronik abgeschaltet.

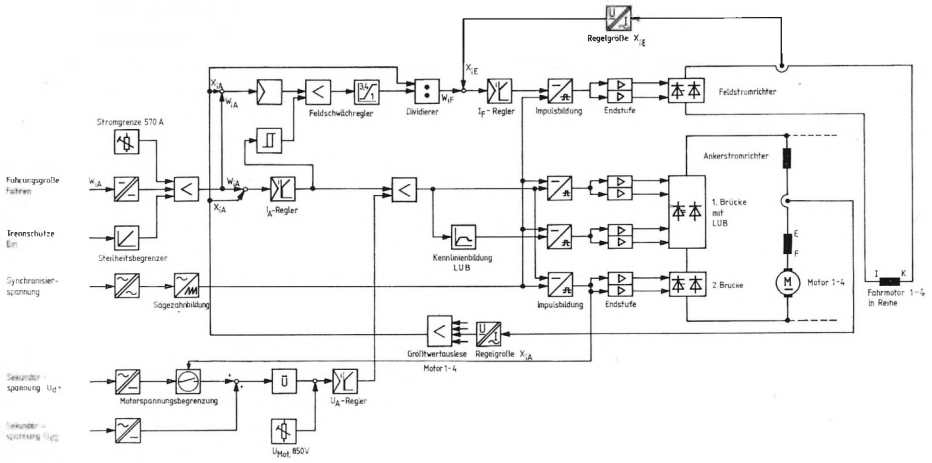


Bild 12: Blockschaltbild „Fahren"

8. Regelungskonzept

Die Fahrzeugregelung ist als Geschwindigkeitsregelung mit unterlagerter Stromregelung aufgebaut. Die folgende Beschreibung bezieht sich nur auf den Anlagenteil, der zum Lieferanteil der ÖAT gehört. Das ist für den motorischen Betrieb die Stromregelung einschließlich der Feldschwächregelung (Abb. 12). Für den generatorischen Betrieb wird die Bremskraftregelung der elektrischen Bremse beschrieben (Abb. 13).

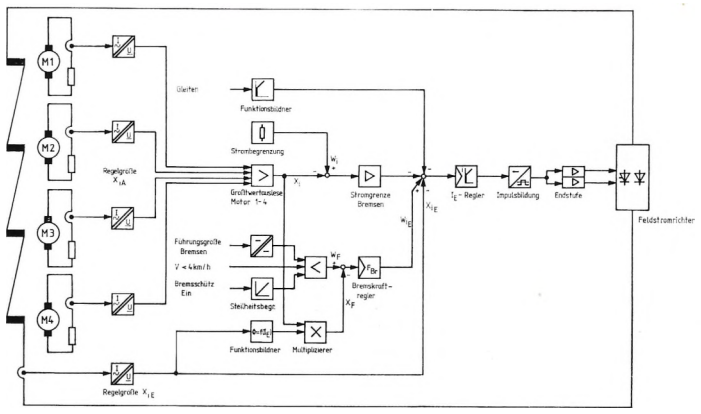


Bild 13: Blockschaltbild „Bremsen"

Der vorgeschaltete Geschwindigkeitsregler gibt die Führungsgröße für den Stromregler. Die Regelgröße ist der Größtwert der vier Ankerströme. Der Fremdfeldstrom I_{I-K} wird in Abhängigkeit von der Ankerstromregelgröße geführt. Die Steuerung der Stromrichter erfolgt wie unter Punkt 5 beschrieben. Im Anschluß an die Aussteuerung der 2. Gleichrichterbrücke, nach Erreichen der vollen Motorspannung, wird die ursprünglich feste Proportionalität zwischen Ankerstrom (= Reihenfeldstrom) und Fremdfeldstrom der gemischt erregten Motoren so geändert, daß bei schwächer werdendem Feld der Ankerstrom konstant bleibt. Bei Erreichen eines minimalen Fremdfeldstromes wird das Verhältnis zwischen dem nun mit steigender Drehzahl sinkenden Ankerstrom und dem Fremdfeldstrom konstant gehalten. Abbildung 14 zeigt den Verlauf des Anker- und Feldstromes während einer Anfahrt. Ferner ist das Verhältnis von Anker- zu Feldstrom und die Motorspannung dargestellt.

Im Bremsbetrieb wirkt die elektrodynamische Bremse (ED) zusammen mit der pneumatischen Bremse (EP). Das Regelungskonzept sieht vor, daß die Summe beider Bremskräfte konstant gehalten wird. Das elektrische Bremsmoment wird auf den Sollwert $IA \cdot \phi$ = const. geregelt. Der Ankerstrom wird auf 550 A, der Erregerstrom auf 100 A begrenzt (Abb. 4).

Im Bereich oberhalb 75 km/h und unterhalb 53 km/h muß die Bremskraft durch Hinzusteuern der pneumatischen Bremse konstant gehalten werden (Abb. 4). Hierzu wird das Produkt von IA mal ϕ als Istwert der elektrischen Bremse direkt in den Regelkreis der Druckluftergänzungsbremse gegeben.

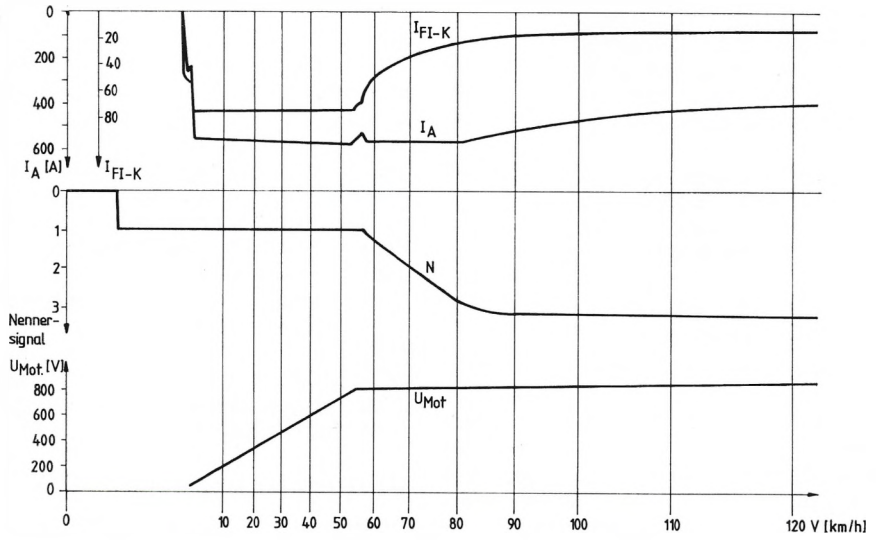


Bild 14: Anker- und Feldstrom bei Fahrbetrieb

In Abb. 15 ist die Abbremsung aus v = 100 km/h dargestellt. Die Abbremsung erfolgte mit der sechsten Bremsstufe. Im Bereich von t_0 bis t_1 ist die Begrenzung des Ankerstromes zu erkennen. Von t_1 bis t_2 wird die ED-Bremskraft, bei stetig steigendem Erregerstrom, geregelt. Vom Zeitpunkt t_2 an bis t_3 erfolgt die Begrenzung des Erregerstromes.

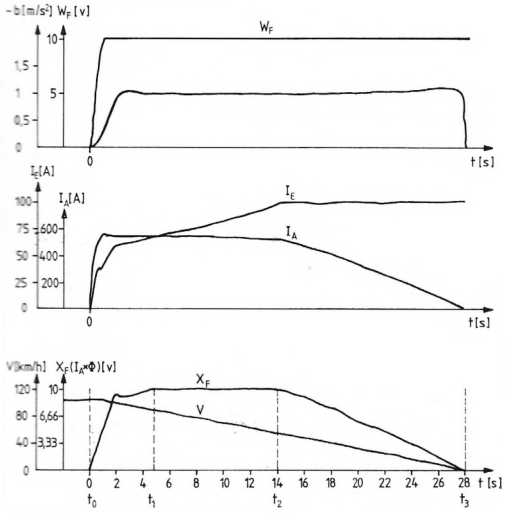


Bild 15: ED u. EP-Bremse aus V = 100 km/h

9. Überwachungen

Außer der bereits erwähnten Temperaturüberwachung sind aus Gründen der Betriebssicherheit noch andere Überwachungseinrichtungen berücksichtigt worden.

9.1. Primärspannungsüberwachung

Diese Überwachung spricht nur dann an, wenn die Fahrdrahtspannung länger als 4 Sekunden unter 11 kV absinkt.

9.2. I_A-Regler-Überwachung

Die Regler-Überwachung hat die Aufgabe, ein Schließen des Ankerstromkreises bei aufgesteuertem Gleichrichter über die Trennschütze zu verhindern. Da die Ausgangsspannung des I_A-Reglers bei störungsfreier Impulsbildung einen direkten Bezug zum Anschnittwinkel des Ankerstromrichters hat, wurde die I_A-Regler-Ausgangsspannung (Steuerspannung) als das zu überwachende Signal ausgewählt.

9.3. 100-Hz-Stromüberwachung

Das Auftreten von Strömen mit einem geradzahligen Vielfachen der Grundfrequenz ist im Hinblick auf mögliche Störbeeinflussungen von erheblicher Bedeutung, da die Gleisfreimeldung für die Signalanlagen bei den Österreichischen Bundesbahnen und anderen europäischen Bahnverwaltungen mit Strömen erfolgt, die eine Frequenz von 100 Hz, also dem Sechsfachen der Grundfrequenz der Fahrleitungsspannung, aufweisen. Um im Störfall eine mögliche Signalumstellung durch vom Fahrzeug erzeugten 100-Hz-Strom auszuschließen, hatten die ÖBB veranlaßt, in den elektrischen Triebzügen 4020 eine entsprechende Schutzeinrichtung einbauen zu lassen [2].

Die Überwachungseinrichtung hat die Aufgabe, Ströme mit einer Frequenz von 100 Hz im Primärstrom zu erfassen und die Anlage bei Überschreiten eines Grenzwertes als gestört abzuschalten. Dazu wird über ein am Primärstromwandler angeschlossenes, aktives Filter die zwischen der im Normalbetrieb 15- bis 20mal so großen 5. bzw. 7. Harmonischen liegende 6. Harmonische ausgefiltert und mit Kipp- und Zeitstufen geprüft, ob dieser Wert einen von den ÖBB vorgegebenen Grenzwert von 1 A/2 s nicht überschreitet. Spricht die Überwachungseinrichtung an, wird dies optisch angezeigt und führt zur Auslösung des Hauptschalters.

10. Abschließende Bemerkungen

In den vorstehenden Ausführungen wurde die Wirkungsweise der Stromrichterausrüstung der Triebwagenreihe 4020 der ÖBB dargestellt als Spezialkapitel zu der im Heft 4/79 dieser Zeitschrift erschienenen Gesamtbeschreibung dieses Triebwagenzuges.

Bemerkenswert ist noch, daß gerade in diesen Tagen der Drucklegung dieses Artikels in der Schweiz Meßfahrten stattgefunden haben, bei denen der Triebwagenzug 4020 der ÖBB mit einem der Reihe RABDe 8/16 der SBB verglichen wurde. Die Versuche bestätigten praktisch von neutraler Seite die bereits in Österreich erzielten Ergebnisse über die Energieersparnis und bekräftigten wieder die Richtigkeit der von den ÖBB getroffenen Entscheidung. Über diese Versuche selbst wird vielleicht einmal getrennt zu berichten sein.

Mit den Triebwagenzügen 4020 und deren Steuerung besitzen die ÖBB ein Fahrzeug, das dem letzten Stand der Wechselstromtechnik entspricht und in seiner Konzeption richtungsweisend ist, womit Österreich wieder einmal seine Stellung als Pionierland des elektrischen Bahnbetriebes unterstrichen hat.

11. Literatur

[1] Förster, J.: Netzrückwirkungen sektorgesteuerter Thyristorfahrzeuge. ZEV/Glas. Ann. 97 (1973), 2/3, S. 77—85.

[2] Falk, P., u. König, P.: Die Überwachungseinrichtung AF 100 GEA für elektrische Triebfahrzeuge zur Erfassung und Auswertung von 100-Hz-Strömen. Techn. Mitteilungen, AEG-Telefunken, 68 (1978), 6/7, S. 236—240.

Kurzmeldungen

Weitere ASEA-Lokomotiven für den Intercity-Verkehr in den USA

Die amerikanische Eisenbahngesellschaft Amtrak, die praktisch für den gesamten Intercity-Fahrgastverkehr in den USA zuständig ist, hat die Anschaffung weiterer 17 Thyristorlokomotiven Typ AEM-7 beschlossen. Dreißig Lokomotiven dieses Typs sind bereits bei General Motors, dem amerikanischen Kooperationspartner der ASEA, im Bau. Die insgesamt 47 Lokomotiven sollen für den Schnellzugdienst im sogenannten Nordostkorridor der USA eingesetzt werden, d. h. auf der verkehrsintensiven Strecke Boston—New York—Washington.

Die Lokomotive Typ AEM-7 basiert auf der bekannten Baureihe Rc 4 der Schwedischen Staatsbahnen (SJ) bzw. 1043 der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB). Die amerikanische Version hat demgegenüber eine Dauerleistung von 4320 kW, das ist 20 % mehr als die der schwedischen Rc-Lokomotive. Die Getriebeübersetzung ermöglicht eine Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h. Man rechnet damit, daß die Strekke New York—Washington mit diesen Lokomotiven in 2 Stunden 40 Minuten und die Strecke New York—Boston in 3 Stunden 40 Minuten bewältigt werden kann.

Die ASEA, Västeras, Schweden, liefert für diese Lokomotiven die elektrische Ausrüstung und auch bestimmte mechanische Bauteile.

Die erste der früher bestellten Thyristorlokomotiven Typ EM-7 wurde bereits geliefert. Nach den Probefahrten soll sie noch in diesem Jahr den fahrplanmäßigen Verkehr im Nordostkorridor aufnehmen.

Die Autoren unserer Leitartikel:

Zimmer, Wilfried, Dipl.-Ing. Dir., Leiter des Bereiches Nachrichten- und Verkehrstechnik der Österreichischen AEG-TELEFUNKEN

Niehage, Helmut, Ing. (grad.), AEG — Berlin, Fachbereich Leistungselektronik

Ludwig, Reinhard, Ing. (grad.), AEG — Berlin, Fachbereich Fahrzeuge

Körner, Ernst, Dipl.-Ing. Dr. techn., wiss. Oberrat am Institut für thermische Turbomaschinen der TU Graz, Kopernikusgasse Nr. 24, 8010 Graz

Vertrag mit Irak unterzeichnet

Zwischen dem DDR-Außenhandelsbetrieb Elektrotechnik und dem Ministerium für Transport und Kommunikation Iraks ist in Bagdad ein Vertrag über die Projektierung, Lieferung, Montage und Inbetriebnahme von kompletten Signal- und sicherungstechnischen Anlagen für das Bagdad-Akashat-Eisenbahnprojekt abgeschlossen worden.

Verkehr überrollt Mexikos Eisenbahnen

Der auch in Nord- und Südamerika stark ansteigende Eisenbahngüterverkehr hat einige Bahnverwaltungen vor große Probleme gestellt. Besonders in Mexiko überfordern die zunehmenden Importe aus den Vereinigten Staaten und Kanada die Transportkapazität der Eisenbahn und führen zu erheblichen Stauungen an den Grenzen und zu schleppender Rückkehr der Güterwagen in ihre Heimat. Derzeit sind rund 17.000 Güterwagen aus den USA und Kanada in Mexiko gebunden, weshalb strikte Annahmesperren verfügt werden mußten.

Weitere Großraumwagen 2. Klasse bestellt

Die DB wird weitere 140 Großraumwagen 2. Klasse bauen lassen. Die Bundesbahn hatte 1979 zunächst 40 Großraumwagen 2. Klasse beschafft, sie bieten 80 Fahrgästen Platz auf Einzelsitzen mit verstellbaren Rückenlehnen. Nachdem sich die bisher eingesetzten Wagen bewährt haben, wurde die Bauart jetzt zur Serienbeschaffung freigegeben. Dabei werden die gewonnenen Erfahrungen ausgewertet und berücksichtigt. Schon ab Oktober 1981 rechnet die Bundesbahn mit der Auslieferung der ersten der 140 Großraum-Serienfahrzeuge.

Das „Krokodil" der achtziger Jahre

Die wohl bekannteste Lokomotive der Schweizerischen Bundesbahnen, das „Krokodil" Ce 6/8, bekommt eine Nachfolgerin. Zwar sind noch zehn der in den Jahren 1920—1922 erbauten „Krokodile" fahrtüchtig, und neun davon versehen auf verschiedenen Rangierbahnhöfen ihren Dienst, doch wird bereits das erste „Krokodil" der neuen Generation, die Ee 6/6, bei Probefahrten geprüft. Die eingehende Erprobung ist notwendig, weil bei der Ee 6/6 eine vollständig neue Technik, die sogenannte Umrichtertechnik mit Drehstrom-Asynchronmotoren, zur Anwendung kommt. Bei der Ee 6/6 handelt es sich um eine Weiterentwicklung der Diesellok Am 6/6, wobei die elektrische Energie statt von einer Dieselgeneratorgruppe von der Fahrleitung geliefert und über einen Zwischenkreis in Drehstrom umgeformt wird. Entwickelt wurde die 17,4 Meter lange Ee 6/6 durch Brown, Boveri & Cie. (elektrischer Teil) und die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur (mechanischer Teil) in Zusammenarbeit mit den SBB. Das 111 Tonnen schwere sechsachsige „Krokodil" soll vor allem im schweren Rangierdienst eingesetzt werden. Die SBB haben vorläufig zehn Ee 6/6 bestellt.

Portugal bestellt neue Triebwagenzüge

Die 50-Hz-Arbeitsgemeinschaft unter Federführung von AEG-Telefunken erhielt von der Portugiesischen Staatsbahn (CP) einen Auftrag zur Lieferung von 15 dreiteiligen elektrischen Triebzügen des Typs CP 8. Der Auftragswert für AEG-Telefunken beträgt rund 7 Mio. DM. Der Waggonteil der Züge wird von der portugiesischen Firma Sorefame gefertigt. Bisher lieferte die 50-Hz-Arbeitsgemeinschaft 100 Triebzüge nach Portugal, erstmals sind jetzt zwei portugiesische Elektrofirmen an der Lieferung von Teilen für die elektrische Ausrüstung beteiligt. In Lizenz der 50-Hz-Arbeitsgemeinschaft liefern sie einen Teil der Fahrmotoren und die Haupttransformatoren. Die elektrische Schaltung der neuen 25-kV/50-Hz-Züge, die 1982 ausgeliefert werden, ist gekennzeichnet durch Silizium-Dioden-Stromrichter, Niederspannungsschaltwerk und Wellenstrom-Fahrmotoren.

Impressum

Herausgeber, Eigentümer und Verleger: Bohmann Druck und Verlag AG. **Verlagsleitung:** Dr. Hildegard Fischer, Redaktionen und zentrale Koordination: Dieter Kiessling, Produktionsplanung und Vertrieb. **Chefredakteur und für den Inhalt verantwortlich:** Dipl.-Ing. Dr. Peter Sokob. **Anzeigen- und Werbeleiter:** Herbert Klaus. **Layout:** Wilfried Schmied. **Druck:** Bohmann Druck und Verlag AG. Alle: A-1110 Wien, Leberstraße 122, Tel. 74 15 95. **Verrechnungswesen und Abonnementverwaltung:** A-1010 Wien, Canovagasse 5, Tel. 65 25 05. **Vertretung für Deutschland:** Werner A. Wutzler, D-5401 Hungenroth/Post Emmelshausen, Tel. 0 67 46 / 219. **Erscheinungsweise:** vierteljährlich.
Nachdruck von Artikeln, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlages bzw. der Redaktion. — Derzeit ist die Anzeigenpreisliste vom 1. 1. 1980 gültig.
Erscheinungsort Wien, Verlagspostamt 1110 Wien. Bezugspreis: Inland: Jahresabonnement S 185,—, Einzelheft S 50,—; Ausland: Jahresabonnement S 201,—, Einzelheft S 54,—. — Alle Preise inklusive Porto. Die Abonnementgebühr ist im voraus zu entrichten. Das Abonnement ist nur 30 Tage vor Ablauf des Kalenderjahres schriftlich kündbar; sonst gilt die Bestellung für das folgende Jahr weiter.

BRAUCHT KEIN BENZIN UND FÄHRT DOCH SUPER: DIE BAHN.

Was tut man am besten bei steigenden Treibstoffpreisen? Umsteigen. Auf die Bahn. Super-Angebote wie diese machen sich jetzt mehr denn je für Sie bezahlt:
Mit der Kilometerbank fahren Sie bargeldlos und sparen bis zu 35%.
Mit der Familienermäßigung sparen Familien volle 50%.
Mit der Sechserkarte fahren Sie einmal umsonst.
Als Stammkunde der Bahn fahren Sie um 25% ermäßigt.
Eines dieser Bahn-Angebote können Sie bestimmt in Anspruch nehmen und damit sparen.
Beruhigend zu wissen in einer Zeit, wo fahren und sparen sich oft nicht mehr reimen wollen. Außer bei der Bahn.

UNSERE BAHN.

SCHALTBAU
MÜNCHEN

Steckverbinder	Rund- und Flachsteckverbinder
Schaltgeräte	Nockenschütze, ein- und mehrpolig Umschaltschütze Steuerschalter Schlüsselschalter Kippschaltgeräte
Miniatur-Relais	Hermetisch dichte Relais für Leiterplatten und Chassismontage Hochfrequenz-Relais
Schaltelemente	Schnappschalter mit Zwangstrennung Schnappschalter mit selbstreinigenden Kontakten Grenztaster nach DIN Drehschalter
Bahnausrüstungen	Elektrische Mehrspannungsheizungen für Reisezugwagen Elektrische Steuerungsanlagen für Diesel-Triebwagen Zubehör für E-Lokomotiven

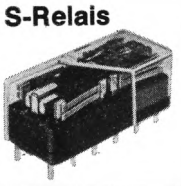
ING. SIEGFRIED GRUND, NACHF. DKFM.

HOLLANDER K.G.

GROSSHANDEL UND VERTRETUNG

A-3400 KLOSTERNEUBURG, WOSAKGASSE 3
Telefon (02243) 77 03 Telex 07-7449

S-Relais

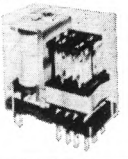


SICHER

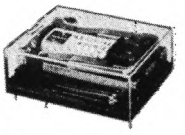
-heit und Zuverlässigkeit von Relais, sowie Wirtschaftlichkeit sind wichtige Faktoren

DURCH

K-Relais

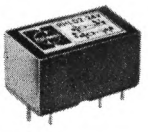


NF-Relais



technische Überlegenheit und modernem

R-Relais



SYSTEM

sind unsere Relais von höchster Effizienz.

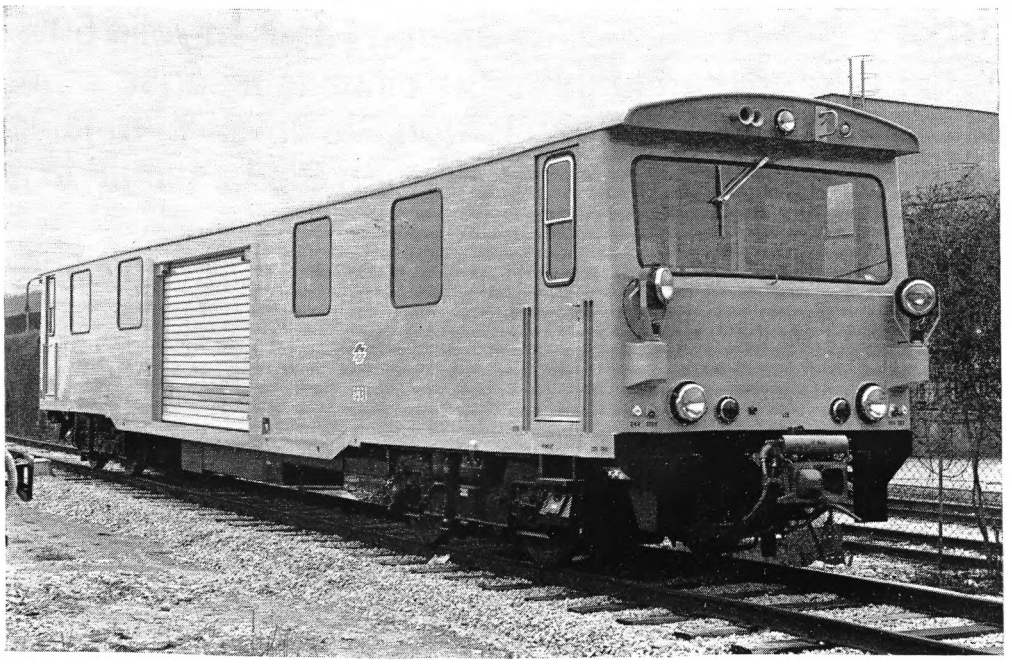
Unterlagen erhalten Sie bei:

H. SAUER GMBH.
2344 Maria Enzersdorf
Johannesstraße 25
Tel. 0 22 36/68 46 u. 47
Tx. 07 9240

SDS RELAIS

SCHIENENFAHRZEUGBAU

Spezial-Triebfahrzeuge mit elektrischem, diesel-elektrischem, diesel-hydraulischem Antrieb,
Güterwagen für alle Spurweiten,
Fahrzeuge für Bau- und Erhaltungsdienst,
Grubenlokomotiven,
Fahrzeuge für Industriebetriebe mit und ohne Eigenantrieb,
Spezialkonstruktionen für Fahrzeugbau und Fahrzeuginstandhaltung,
ausgeführt nach eigenen Konstruktionen und nach Kundenwünschen.



U-Bahn-Rüstwagen UDR
WVB Nr. 6931

KNOTZ F K

FRANZ KNOTZ
KOMMANDITGESELLSCHAFT · STAHL- UND KESSELBAU
1020 WIEN, HELLINGSTRASSE TEL. 74 15 71

Dipl.-Ing. Dr. techn.
Ernst Körner, Graz:

Das Stabilitätsproblem in den Bewegungsgleichungen des Antriebssystems einer elektrischen Lokomotive.

1. Aufgabenstellung

In diesem ersten Beitrag zum Thema „Reibschwingungen" sei das folgende Problem gestellt:
Der Antrieb einer modernen E-Lok befindet sich zusammen mit dem Zugsverband im Zustand gleichförmig beschleunigter Bewegung, d. h. die Kräfte und Momente sind zeitlich konstant, die Geschwindigkeiten wachsen linear mit der Zeit. Durch eine Störung werden zusätzlich Bewegungen eingeleitet.
Gefragt wird nach der Art und dem weiteren Verlauf dieser Überlagerungen, ob also monotone oder oszillatorische Zusatzbewegungen auftreten, und ob diese abklingen, das System also den Betriebspunkt wieder erreicht, somit stabil ist, oder ob das System sich vom ursprünglichen „Gleichgewichtszustand" immer weiter entfernt, in welchem Fall Instabilität vorliegt.
Es darf als bekannt vorausgesetzt werden, daß die Reibungskennlinie, also der Verlauf der Reibungsziffer über die Gleitgeschwindigkeit v_{Gl} im Radaufstandspunkt, maßgebenden Einfluß auf die genannte Aufgabe hat. In (1) wurde gezeigt, wie im Bereich des Schleuderns ($v_{Gl} > v^*$) durch einen Anstoß (dort z. B. in Form eines plötzlichen Reibwertabfalles) aufklingende Schwingungen auftreten, während im Makroschlupfbereich ($v_{Gl} < v^*$) die Torsionsschwingungen im Antrieb durch die steigende Reibungscharakteristik, durch Dämpfung in der Kupplung sowie durch die fallende Motorkennlinie (Schleuderschutz) schließlich verschwinden.
Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die quantitative, d. h. analytisch-numerische Behandlung dieses Problems. Die Zahlenwerte können exakt nur für eine bestimmte Lok-Type, im vorliegenden Fall der Thyristorlok, Reihe 1044 der ÖBB, gelten, für andere Lokomotiven gelten sie zumindest „prinzipiell".

2. Das gewählte System

Zur Beantwortung des gestellten Problems reicht bereits ein einfaches System aus, das die wichtigsten Nachgiebigkeiten in Antrieb, die physikalischen Zusammenhänge zwischen Gleitgeschwindigkeit und Triebkraft sowie die Abhängigkeit des Motormomentes von der Motordrehzahl berücksichtigt. Nach Bild 1 ist ein „einseitiger" Antrieb gewählt, wie er neuerdings aus Platzgründen meist zur Anwendung kommt. Diese eine, für die ganze Lok repräsentative Achse liefert, wie gezeigt wird, bereits wertvolle Einblicke, inwieweit eine Änderung der Systemparameter den zeitlichen Ablauf der Zusatzbewegungen beeinflußt.

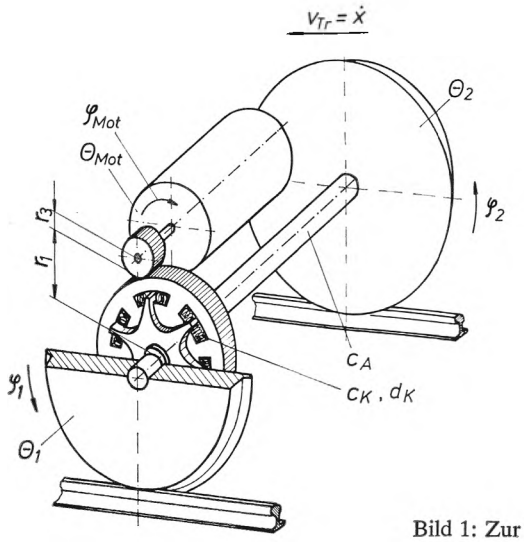


Bild 1: Zur Wahl des Systems

3. Die Bewegungsgleichungen

Diese ergeben sich durch Anwendung des Drallsatzes $\Theta \cdot \ddot{\varphi} = \Sigma M$ auf die Radscheibe 1 und 2 sowie auf den Motoranker, und des Schwerpunktsatzes $m \cdot \ddot{x} = \Sigma X$ auf das translatorisch bewegte System Lok + Anhängelast. Wenn Θ ein Massenträgheitsmoment darstellt, und die Punkte über den kinematischen Größen Ableitungen nach der Zeit sind, erhält man für das Antriebsrad „1"

$$\Theta_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 = M_K - M_A - T_1 \cdot r - M_R, \tag{3.1}$$

wenn M_K das von der „Kupplung" übertragene Drehmoment, M_A das Torsionsmoment in der Achswelle und T_1 die im Aufstandspunkt geweckte Reibungskraft („Triebkraft") darstellt (Bild 2). M_R ist die

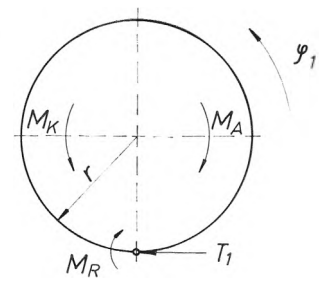


Bild 2: Kräfte und Momente am Rad 1

Summe aus Rollreibungsmoment und anteiligen Verlustmomenten in den Lagern.
Für das nicht-angetriebene Rad „2" gilt

$$\Theta_2\ddot{\varphi}_2 = M_A - T_2 \cdot r - M_R, \tag{3.2}$$

für die Motorwelle (Index „M") ergibt sich

$$\Theta_M\ddot{\varphi}_M = M_M - \frac{M_K}{\ddot{u}}, \tag{3.3}$$

worin $\ddot{u} \equiv \frac{r_1}{r_3}$ (> 1) die Übersetzung des Getriebes darstellt.

Schließlich wird die Translationsbewegung des Zuges beschrieben durch

$$m_T \cdot \ddot{x} = 4(T_1 + T_2) - W_Z, \tag{3.4}$$

wenn eine vierachsige Lok betrachtet wird. W_Z ist der Zugswiderstand und m_T die ganze translatorisch bewegte Masse aus Lok und Wagenzug, d. h.

$$m_T = m_L + (1 + \psi)m_Z; \tag{3.5}$$

der Faktor ψ erfaßt den Anteil der rotierenden Massen des Wagenzuges. Zweckmäßig werden in den Gln. (3.1) bis (3.3) die Winkelgrößen durch Wege am Radumfang ausgedrückt, die Momente auf Kräfte am Radius r umgeschrieben, also

$$\varphi_{1,2} \equiv \frac{u_{1,2}}{r} \quad \varphi_M \equiv \ddot{u} \cdot \frac{u_M}{r} \quad M_{A,K} \equiv \frac{1}{4} Z_{A,K} \cdot r \qquad M_M \equiv \frac{1}{4\ddot{u}} Z_M \cdot r.$$

Führt man dann noch Trägheitsmomente auf „rotierende Massen" zurück mittels

$$m_{r\,1,2} \equiv \frac{4}{r^2}\Theta_{1,2} \qquad\qquad m_{r3} \equiv \frac{4\ddot{u}^2}{r^2}\Theta_M,$$

und führt den Lokwiderstand ein mittels $W_L \equiv 8\frac{M_R}{r}$, so ergeben sich die Differentialgleichungen der Systembewegung zu

$$m_{r1}\ddot{u}_1 = Z_K - Z_A - 4\,T_1 - \frac{1}{2}W_L, \tag{3.6.1}$$

$$m_{r2}\ddot{u}_2 = Z_A - 4\,T_2 - \frac{1}{2}W_L, \tag{3.6.2}$$

$$m_{r3}\ddot{u}_M = Z_M - Z_K. \tag{3.6.3}$$

Der Faktor 4 in obigen Definitionen bedeutet, daß sich die Größen Z und m_r auf die ganze Lok beziehen. Zu den Gln. (3.6) tritt noch Gl. (3.4) für die Translationsbewegung.

4. Der stationäre Betriebspunkt

Der in 1. genannten Aufgabe zufolge ist der durch die gleichförmig beschleunigte Systembewegung bestimmte „stationäre" Zustand gegeben durch $\bar{u}_1 = \bar{u}_2 = \bar{u}_M = \bar{\dot{x}} \equiv b$ = konstant, gekennzeichnet durch Querstriche. Durch Addition der Gleichungen (3.6) und (3.4) erhält man

$$b = \frac{1}{m^*}(\bar{Z}_M - W_L - W_Z), \tag{4.1}$$

wenn $m^* \equiv m_{r1} + m_{r2} + m_{r3} + m_T$.

Die Forderung b = konstant führt unter der Voraussetzung W_L = konstant und W_z = konstant auf die Konstanz aller Kräfte $\bar{Z}$ und $\bar{T}$ in den Gln. (3.6) und (3.4).

5. Die Gleichungen für die gestörte Bewegung

Wir nehmen „kleine" Abweichungen δ von dem durch 4. bestimmten „Gleichgewichtszustand" an, derart, daß in den „gestörten" Gleichungen nur lineare Terme der Abweichungsgrößen aufscheinen.
Wir schreiben also $x = \bar{x} + \delta x$, $\dot{x} = \dot{\bar{x}} + \delta\dot{x}$, $\ddot{x} = \ddot{\bar{x}} + \delta\ddot{x}$ und Entsprechendes für $u_1 = \bar{u}_1 + \delta u_1$, $u_2 = \bar{u}_2 + \delta u_2$ und $u_M = \bar{u}_M + \delta u_M$. Für die Ableitungen gelten die Identitäten $\dot{\bar{x}} \equiv \dot{x}$, $\delta(\dot{x}) \equiv (\delta x)^{\cdot} \equiv \delta\dot{x}$, usw. Die „gestörten" Kräfte sind ebenfalls durch diese kinematischen Störgrößen (und ihre Ableitungen) mit Hilfe ihrer Kennlinien zu beschreiben:

a) Motorkennlinie

Nach Bild 3 ist für eine kleine Abweichung vom Betriebspunkt B im Augenblick der Störung zu schreiben

$$\delta Z_M \equiv Z_M - \bar{Z}_M = -k_M \cdot \delta\dot{u}_M. \tag{5.1}$$

Die „gefahrene" Kennlinie Z_M = konst = $\bar{Z}_M$ (d. h. $k_M = 0$) ist von der „Motorkennlinie" konstanter Spannung ($k_M > 0$) zu unterscheiden.

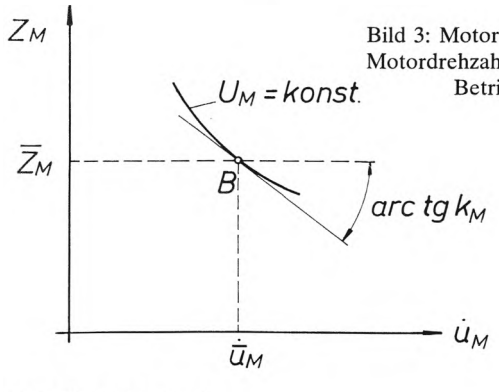


Bild 3: Motorzugkraft über reduz. Motordrehzahl in der Nähe des Betriebspunktes

b) Reibwertverlauf

Die eingeprägte Gleitreibungskraft ist bestimmt durch die Größe der Gleitgeschwindigkeit und durch die Reibungscharakteristik. Als „Widerstand" wirkt sie v_{Gl} entgegengesetzt. Wegen der Definition $v_{Gl} \equiv \dot{u} - \dot{x}$ bleibt $\bar{v}_{Gl}$ als Differenz zweier mit t wachsender Geschwindigkeiten zeitlich konstant. Die Abweichung vom Betriebspunkt B ergibt sich zu

$$\delta(4T) \equiv 4T - 4\bar{T} = k_{Rh} \cdot \delta v_{Gl}, \text{ so daß}$$

$$\delta(4T_1) = k_{Rh} \cdot (\delta\dot{u}_1 - \delta\dot{x}) \tag{5.2}$$ und

$$\delta(4T_2) = k_{Rh} \cdot (\delta\dot{u}_2 - \delta\dot{x}). \tag{5.3}$$

Für den gedachten Betriebspunkt B' im Bereich des Schleuderns ist offenbar $k_{Rh} < 0$.

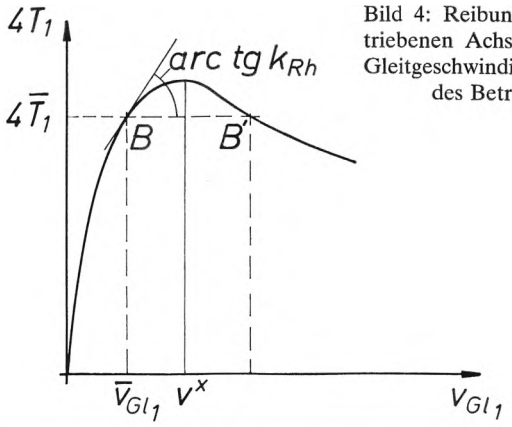


Bild 4: Reibungskraft aller angetriebenen Achsen („1") über der Gleitgeschwindigkeit in der Nähe des Betriebspunktes

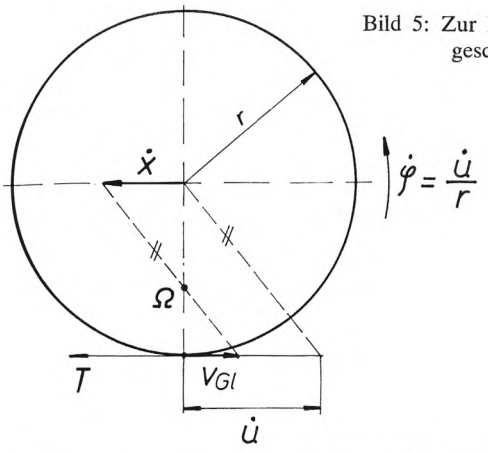


Bild 5: Zur Definition der Gleitgeschwindigkeit

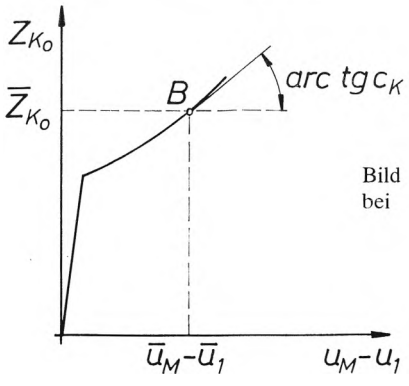


Bild 6: Kupplungscharakteristik bei statischer Verdrehung (Geschw. = 0)

c) Kupplungskennlinie

Aus der Kennlinie der Kupplungszugkraft ergibt sich zunächst

$$\delta Z_{K_o} = c_K(\delta u_M - \delta u_1).$$

Die Verwendung von Gummielementen im Antrieb erfordert die Einführung entsprechender Dämpfungsgrößen. Mit einer geeigneten äquivalenten viskosen Dämpfung d_K des Werkstoffes gilt dann

$$\delta Z_K \equiv Z_K - \bar{Z}_K = \delta Z_{K_o} + d_K \cdot (\delta\dot{u}_M - \delta\dot{u}_1) =$$
$$= c_K(\delta u_M - \delta u_1) + d_K(\delta\dot{u}_M - \delta\dot{u}_1) \tag{5.4}$$

d) Für die Torsion der im Elastizitätsbereich beanspruchten Achswelle gilt einfach $Z_A = c_A(u_1 - u_2)$, also

$$\delta Z_A \equiv Z_A - \bar{Z}_A = c_A(\delta u_1 - \delta u_2) \tag{5.5}$$

Der weitere Rechnungsgang wird gekürzt wiedergegeben.

Aus den Gln. (5.1) bis (5.5) ergeben sich die Kräfte Z_M, $4T_1$, $4T_2$, Z_K und Z_A für den gestörten Zustand aus ihren gequerten Größen und den Abweichungen, z. B. $Z_M = \bar{Z}_M - k_M \cdot \delta\dot{u}_M$.
Werden sie zusammen mit den kinematischen Größen u_1, u_2, u_M, x und ihren Ableitungen, z. B. $\ddot{u}_M = \ddot{\bar{u}}_M + \delta\ddot{u}_M$ in die Bewegungsgleichungen (3.6) und (3.4) eingesetzt, so verbleibt ein System von 4 Differentialgleichungen 2. Ordnung in den Unbekannten $\delta u_{1,2,M}$ und δx, weil sich die gequerten Größen, sowie W_L und W_Z rechts und links des Gleichheitszeichens jeweils aufheben. Z. B. ergibt sich aus der ersten der Glen (3.6) geordnet

$$[m_{r1}\delta\ddot{u}_1 + (d_K + k_{Rh})\delta\dot{u}_1 + (c_A + c_K)\delta u_1] - c_A\delta u_2 - \\ - (d_K \cdot \delta\dot{u}_M + c_K \cdot \delta u_M) - k_{Rh} \cdot \delta\dot{x} = 0; \qquad (5.6)$$

6. Lösung des Systems der gestörten Bewegungsgleichungen; charakteristisches Polynom

Für das vorliegende lineare Differential-Gleichungssystem führen bekanntlich die Ansätze

$$\delta u_1 = U_1 e^{\lambda t}, \quad \delta u_2 = U_2 e^{\lambda t}, \quad \delta u_M = U_M e^{\lambda t} \text{ und } \delta x = X e^{\lambda t}$$

zum Ziel. Zusammen mit den Ableitungen $\delta\dot{u}_1 = \lambda U_1 e^{\lambda t}$, $\delta\ddot{u}_1 = \lambda^2 U_1 e^{\lambda t}$ usw. verbleibt nach Streichen des allen Gliedern gemeinsamen Faktors $e^{\lambda t}$ ein gewöhnliches homogenes Gleichungssystem. So erhält man z. B. aus (5.6):

$$[m_{r1}\lambda^2 + (d_K + k_{Rh})\lambda + (c_A + c_K)]\, U_1 - c_A U_2 - \\ - (d_K\lambda + c_K)U_M - k_{Rh}\lambda X = 0$$

Die Koeffizienten der unbekannten „Amplituden" $U_{1,2,M}$ und X der Störfunktionen werden im folgenden Schema zusammengefaßt:

U_1	U_2	U_M	X
$m_{r1}\lambda^2 + (d_K + k_{Rh})\lambda + (c_A + c_K)$	$-c_A$	$-(d_K\lambda + c_K)$	$-k_{Rh}\lambda$
$-c_A$	$m_{r2}\lambda^2 + k_{Rh}\lambda + c_A$	$\emptyset$	$-k_{Rh}\lambda$
$-(d_K\lambda + c_K)$	$\emptyset$	$m_{r3}\lambda^2 + (d_K + k_M)\lambda + c_K$	$\emptyset$
$-k_{Rh}\lambda$	$-k_{Rh}\lambda$	$\emptyset$	$m_T\lambda^2 + k_R\lambda$

(6.1)

Dieses homogene Gleichungssystem hat, wie bekannt, nur dann nichttriviale Lösungen für die Unbekannten U und X, wenn deren Koeffizientendeterminante D verschwindet. Deren einigermaßen mühsame Ausrechnung führt mit der Bedingung D = 0 schließlich zum charakteristischen Polynom (auch „Frequenzgleichung"):

$$\sum_1^6 A_i\lambda^i = A_6\lambda^6 + A_5\lambda^5 + \ldots + A_1\lambda + A_o = 0 \qquad (6.2)$$

mit den Koeffizienten

$$A_6 = m_{r1}m_{r2}m_{r3}m_T$$

$$A_5 = k_R\left[\frac{1}{2}(m_{r1} + m_{r2})m_T + m_{r1}m_{r2}\right]m_{r3} + k_M m_{r1}m_{r2}m_T + d_K(m_{r3} + m_{r1})m_{r2}m_T$$

$$A_4 = k_R\left\{\frac{1}{4}k_R\bar{m}_T m_{r3} + d_K\left[(m_{r3} + m_{r1})m_{r2} + \frac{1}{2}\bar{m}_r m_T\right]\right\} + \\ + k_M\left\{k_R\left[\frac{1}{2}(m_{r1} + m_{r2})m_T + m_{r1}m_{r2}\right] + d_K m_{r2}m_T\right\} + \\ + c_A(m_{r1} + m_{r2})m_{r3}m_T + c_K(m_{r3} + m_{r1})m_{r2}m_T$$

$$A_3 = k_R\left\{c_A\bar{m}_T m_{r3} + c_K\left[\frac{1}{2}\bar{m}_r m_T + (m_{r3} + m_{r1})m_{r2}\right]\right\} + \\ + k_M\left[c_A(m_{r1} + m_{r2})m_T + c_K m_{r2}m_T + d_K k_R(m_{r2} + \frac{1}{2}m_T) + \frac{1}{4}k_R^2\bar{m}_T\right] + \\ + d_K(c_A\bar{m}_r m_T + \frac{1}{4}k_R^2\bar{M}) \qquad (6.3)$$

$$A_2 = k_M\left\{k_R\left[c_A\bar{m}_r + c_K(m_{r2} + \frac{1}{2}m_T)\right] + d_K(c_A m_r + \frac{1}{4}k_R^2)\right\} + \\ + k_R(c_A d_K + \frac{1}{4}c_K k_R)\bar{M} + c_A c_K\bar{m}_r m_T$$

$$A_1 = c_A c_K k_R\bar{M} + k_M\left[k_R(c_A d_K + \frac{1}{4}c_K k_R) + c_A c_K m_T\right]$$

$$A_0 = c_A c_K k_M k_R$$

Hierin ist $\bar{M} \equiv m_{r1} + m_{r2} + m_{r3} + m_T$,
$\bar{m}_r \equiv m_{r1} + m_{r2} + m_{r3}$ und
$\bar{m}_T \equiv m_{r1} + m_{r2} + m_T$.

Weiters bedeutet $k_R \equiv 2k_{Rh}$ die Steigung der für die ganze Lok geltenden Reibungskennlinie $Z_R \equiv 4T_1 + 4T_2 = \mu \cdot m_L g$ im Betriebspunkt.
Wegen der „fehlenden Abstützung" des Systems sowohl in der X-Richtung wie auch hinsichtlich der Drehbewegung, degeneriert die erwartete Frequenzgleichung achter Potenz zu einer solchen vom Grad 6.

7. Die Lösung der Aufgabe

Mit Hilfe der Frequenzgleichung (6.2) ist das gestellte Problem wie folgt zu lösen: Für gegebene Zahlenwerte m, c, d und k ermittelt man die Koeffizienten A_0 bis A_6, sodann mittels eines Rechenprogrammes die Wurzeln λ_1 bis λ_6 des charakteristischen Polynoms. Diese können reell oder paarweise konjugiert komplex sein.
Der Realteil R einer Wurzel ist nun für das Stabilitätsverhalten der zugehörigen Teillösung bestimmend. Im Falle eines konjugiert komplexen Wurzelpaares $\lambda = R \pm i.\,I$ (Imaginärteil $I > 0$) bedeutet $R > 0$ oszillatorische Instabilität, als nämlich die Amplituden der zugehörigen Teillösung e^{Rt} (Acos It + Bsin It) mit der „Zeitkonstanten R" zunehmen, d. h. in der Zeit $t^* = \frac{1}{R}$ nimmt die Einhüllende mit dem Faktor $e^{Rt^*} = e^1 = 2{,}718$ zu. Umgekehrt bedeutet $R < 0$ offenbar stabiles Verhalten, als gedämpfte Schwingungen auftreten, deren Amplituden in der Zeit $t^* = \frac{1}{|R|}$ mit dem Faktor $e^{-1} = 0{,}368$ abnehmen. Die Frequenz der Störschwingungen ist in beiden Fällen durch $f = \frac{I}{2\pi}$ bestimmt.

Der Fall einer reellen Wurzel ($I = 0$, $R = \lambda$) bedeutet monotone Instabilität (bzw. Stabilität), wenn $\lambda > 0$ (bzw. $\lambda < 0$), wobei die Zeitkonstante $t^* = \frac{1}{|\lambda|}$ ist.

Trotz der komplizierten Ausdrücke für die Koeffizienten A ist zumindest eine wesentliche Aussage zur Qualität der Wurzeln möglich und dies ohne Auflösung der Frequenzgleichung. Die Stabilitätstheorie lehrt, daß die Vorzahlen A_i ($i = 0 \div 6$) sämtlich > 0 sein müssen, damit alle $R_i < 0$ sind. Diese notwendige Bedingung ist „leider" nicht hinreichend, jedoch gilt die Umkehrung ohne Einschränkung: Ist auch nur einer der Koeffizienten $A_i < 0$, so ist sicher Instabilität gegeben. Dieser Fall trifft zu, wenn $k_R < 0$ ist, man sich also im Gebiet des Schleuderns $v_{Gl} > v^*$ befindet (Bild 4). Alle anderen Parameter m und c sind positiv, d_K und k_M sind nicht negativ (also ≥ 0), können demnach keine $A_i < 0$ hervorrufen. Sicher ist für $k_R < 0$ zumindest das Absolutglied $A_o < 0$.
Andererseits konnten im Gebiet $v_{Gl} < v^*$ bei praktisch vorkommenden Werten der Parameter keine Wurzeln mit $R > 0$ festgestellt werden, so daß die genannte Stabilitätsbedingung zumindest „praktisch hinreichend" erscheint.

Diese Erkenntnisse sind nicht neu: Das Gebiet des Makroschlupfes gilt als stabil, der Bereich des Schleuderns ist instabil. Die folgende Zahlenrechnung soll dies quantitativ zeigen.

8. Zahlenwerte für die Parameter

Aus den mir von den Firmen SGP und BBC freundlich zur Verfügung gestellten Daten konnten die benötigten Größen m, c, d und k errechnet werden. Die Kürze der Anschreibung soll nicht über den manchmal mühsamen Weg ihrer Ermittlung hinwegtäuschen.
Bei einer Lok-Masse von $m_L = 84{,}256$ to betragen die rotierenden Massen: $m_{r1} = 2{,}2988$ to, $m_{r2} = 2{,}0640$ to, $m_{r3} = 10{,}2364$ to.
Es werde die Anfahrt eines Güterzuges mit der für den Semmering zulässigen Grenzbelastung von $m_Z = 650$ to betrachtet, so daß sich nach (3.5) mit $\psi = 5\%$ ergibt.

$$m_T = 84{,}256 + 1{,}05.650 = 766{,}756 \text{ to.}$$

Die Torsionsfederkonstante der Achswelle ergibt sich, aus mehreren Wellenstücken unterschiedlichen Durchmessers zusammengesetzt und auf den Radumfang umgerechnet, schließlich zu

$$c_A = 1{,}18116 \cdot 10^5 \text{ kN/m.}$$

Schwieriger war die Ermittlung von c_K und d_K, als beide charakteristische Kupplungsgrößen für die in der Serie ausschließlich angewendeten Gummipuffer stark von der Frequenz abhängen. Bild 7 zeigt den Verlauf dieser äquivalenten Größen am Radumfang, wie sie aus mehreren Schwing-Versuchen an der T. U. Graz ausgemittelt wurden.

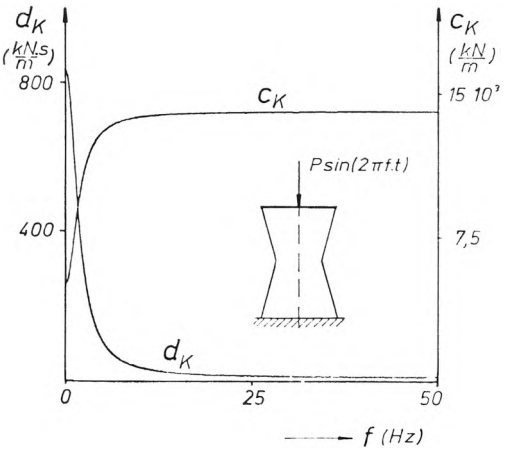


Bild 7: Feder- und Dämpfungsbeiwerte der Gummielemente über der Frequenz

Folgende Wertepaare c_K/d_K wurden in die Zahlenrechnung aufgenommen:

f(Hz)	0	11	53
c_K(kN/m)	5237	14220	14480
d_K(kNs/m)	832	30,8	9,24

Die gewählten Frequenzen > 0 entsprechen den beiden Eigenschwingzahlen des Antriebssystems (siehe 9).
Die Werte k_M und k_R waren einer tiefgehenden analytischen Untersuchung des Anfahrvorganges, über die in einer späteren Arbeit berichtet werden soll, zu entnehmen. Vorausgesetzt war der genannte Güterzug, der bei einer Sollstromvorgabe von 2 kA in einer Steigung von 10‰, erschwert durch eine Kurve, anzufahren war. Nach 12 Sekunden wurde eine Motorspannung am hinteren Drehgestell von 160,3 V erreicht bei einer gesamten Motorzugkraft von $\bar{Z}_M = 317{,}9$ kN. Aus dem Z_M, $\mathring{u}_M$-Diagramm der Lok liest man dann im gerade erreichten Betriebspunkt mit der Abszisse $\bar{\mathring{u}}_M = 2{,}593$ m/s eine Tangentenneigung der Linie konstanter Spannung $\bar{U}_M = 160{,}3$ V von $k_M = 327{,}7$ kNs/m ab. Dieser Wert gilt bei Eingreifen des Schleuderschutzes. Ist dies nicht der Fall und bleibt die Sollstromvorgabe aufrecht, so ist mit $k_M = 0$ zu rechnen, vgl. 5a.
Die wichtige Größe k_R ermittelt sich aus dem Z_R, v_{Gl}-Diagramm. Zu dessen rechnerischer Festlegung wurden, wie in (1) ausführlich dargestellt, die Versuchspunkte nach Frederich (2) im Makroschlupfgebiet durch eine Parabel 4. Ordnung mit Pol im Gipfel $\mu_{max} = 0{,}4$ und $v^* = 0{,}14005$ m/s ersetzt, die im Punkt $v_{\ddot{u}} = 0{,}17328$ m/s tangential an eine Hyperbel anschließt, welche im Gebiet des Schleuderns die genannten Versuchspunkte gut wiedergibt.
Für den Zeitpunkt $\bar{t} = 12$ sec ergab die oben genannte Rechnung eine gesamte Reibungszugkraft $\bar{Z}_R = 310{,}65$ kN bei einer (mittleren) Gleitgeschwindigkeit von $\bar{v}_{Gl} = 0{,}07070$ m/s. Der geweckte Reibwert nach Frederich ist dann $\mu = 0{,}37595$, und die Tangente in diesem Punkt an die Parabel hat eine Neigung von $k_R = 1146$ kNs/m.
Zur numerischen Erfassung des Gebietes „Schleudern" wurde willkürlich der Punkt B′ (siehe Bild 4) in gleicher Höhe $\bar{Z}_R$, aber mit $\bar{v}_{Gl} = 0{,}33158$ m/s gewählt, ein gedachter Betriebszustand, da, wenn er gestört wird, Wurzeln mit $R > 0$ auftreten, die ihn als instabilen, also nicht dauernd fahrbaren Betriebspunkt ausweisen. Die Tangentenneigung der Hyperbel ist dort $k_R = -112{,}12$ kNs/m. Die stärkste (negative) Neigung tritt im Übergangspunkt Parabel–Hyperbel bei der Gleitgeschwindigkeit $v_{\ddot{u}}$ auf mit $|-k_{Rmax}| = 126{,}12$ kNs/m, ist also (absolut genommen) wesentlich kleiner als die größte Steigung im Nullpunkt der Reibkraftkurve, die sich mit $+k_{Rmax} = 9440$ kNs/m ergibt.
Nochmals sei festgehalten, daß sich die Zahlenwerte auf die ganze Lok beziehen.

9. Die Kennfrequenzen des Torsionsschwingungssystems

Zur Erklärung der Herkunft der Wurzeln λ unter 10. benötigt man die theoretischen Frequenzen des idealisierten Drehschwingungssystems ohne Dämpfung (und ohne Erregung). Setzt man in den Bewegungsgleichungen (5.6) $d_K = k_M = k_R = 0$, und führt zweckmäßig die Ansätze $\delta u_{1,2} = U_{1,2} \cdot \sin\omega t$, $\delta u_M = U_M \cdot \sin\omega t$ in die verbleibenden 3 Gleichungen ein (die 4. Unbekannte δx für die Translation entkoppelt sich wegen $k_R = 0$), so folgt analog (6.1) ein (symmetrisches) Koeffizientenschema für die Amplituden U:

U_1	U_2	U_M
$-m_{r1}\omega^2 + (c_A + c_K)$	$-c_A$	$-c_K$
$-c_A$	$-m_{r2}\omega^2 + c_A$	Ø
$-c_K$	Ø	$-m_{r3}\omega^2 + c_K$

Die Bedingung $D = 0$ führt schließlich zur Frequenzgleichung

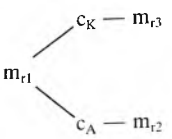
$$A_2 y^2 - A_1 y + A_0 = 0 \qquad \text{in } y \equiv \omega^2,$$

wobei $A_0 \equiv (m_{r1} + m_{r2} + m_{r3})c_A c_K$,

$$A_1 \equiv (m_{r1} + m_{r2})m_{r3}c_A + (m_{r3} + m_{r1})m_{r2}c_K$$

und $A_2 = m_{r1}m_{r2}m_{r3}$.

Die resultierenden zwei Lösungen $\omega_{1,2}$ bzw. $f_{1,2} = \omega_{1,2}/2\pi$ entsprechen den Erwartungen des offenen Dreischeibensystem



Die Eigenfrequenzen werden samt den zugehörigen „Eigenformen" in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

c_K (kN/m)	14220		14480	
f(Hz)	10,702	53,183	10,796	53,197
U_1	1	1	1	1
U_2	1,0858	− 1,0513	1,0874	− 1,0502
U_M	− 0,4435	− 0,01260	− 0,4438	− 0,01282

Tabelle 1: Eigenfrequenzen und Eigenformen des Torsionsschwingungssystems im Antrieb.

Man erhält also die Grundfrequenz mit etwa 11 Hz, die Oberschwingung hat rund 53 Hz. Bei Letzterer schwingen im wesentlichen die beiden Radscheiben 1 und 2 gegeneinander, der Motor M steht fast still („Achsschwingung"), während bei der Grundschwingung etwa der Radsatz sich als Ganzes gegen den Motor bewegt.

10. Numerische Ergebnisse

Zur Lösung der Frequenzgleichung (6.2) wurde ein am Institut vorliegendes Wurzelprogramm für Polynome mit dem zur Berechnung der Koeffizienten $A_0 \div A_6$ nach (6.3) aufgestellten, kombiniert. Der Rechner ist ein mittelgroßer Tischcomputer der Type Hewlett-Packard 9810. Eine Handrechnung kann nicht empfohlen werden.
In allen folgenden Tabellen sind die Realteile der Wurzeln in 1/sec angegeben, die Imaginärteile, angekoppelt durch den Faktor $j \equiv 2\pi \cdot i$, sind direkt in Hz abzulesen.

10.1. Die Verhältnisse bei Störung des Betriebspunktes B im Gebiet des Makroschlupfes (siehe Bild 4)

k_R	1146					
k_M	0			327,7		
c_K/d_K	5237/832	14220/30,8	14480/9,24	5237/832	14220/30,8	14480/9,24
λ_1	0	0	0	−,33429	−,33057	−,33053
λ_2	− 6,9399	− 7,6666±	− 6,7398±	− 4,9007	− 23,374±	− 22,533±
λ_3	− 36,625	j · 5,8107	j · 5,9553	− 59,520	j · 5,5275	j · 5,7872
λ_4	− 42,052±	− 128,20±	− 130,53±	− 43,022±	− 127,44±	− 130,30±
λ_5	j · 41,373	j · 47,699	j · 48,502	j · 43,051	j · 47,779	j · 48,524
λ_6	− 844,00	− 273,14	− 258,85	− 852,89	− 274,93	− 259,41

Tabelle 2: Wurzeln λ (1/scc) im Gebiet $v_{GI} < v^*$ ohne und mit Schleuderschutz

Obwohl grundsätzlich ein verkoppeltes System vorliegt, kann die Herkunft der Wurzeln wie folgt erklärt werden: $\lambda_{2,3}$ leitet sich von der Torsionsgrundschwingung Radsatz–Motor ab, $\lambda_{4,5}$ von der Achsschwingung, λ_1 gehört zur Dämpfung der Längsbewegung des Zuges („Zucken") und schließlich λ_6 zur Dämpfung des gesamten Antriebes, beides infolge der Reibungskennlinie.
Man erkennt den „positiven" Einfluß der Steilheit der Motorkennlinie und einer ausreichenden Dämpfung in der Kupplung auf die Stabilität. Die Frequenzen werden gegenüber den Kennfrequenzen stark erniedrigt, besonders die Grundfrequenz der Schwingung „Achse gegen Motor".
Die folgende Aufstellung zeigt den ebenso stabilisierenden Einfluß der Steilheit der Reibungskennlinie zum Vergleich mit obiger Tabelle ganz rechts:

k_R	9440 = k_{Rmax}	1	1146
k_M	327,7		∞
c_K/d_K	14480/9,24		14480/9,24
λ_1	−,40952	−,0013002	− 1,7423
λ_2	− 17,497±	− 5,7727±	− 10,883
λ_3	j · 5,3768	j · 10,519	− 254,73
λ_4	− 52,125	− 1,1554±	− 132,52±
λ_5	− 1982,7	j · 53,194	j · 48,787
λ_6	− 2319,0	− 23,539	− ∞

Tabelle 3: Einfluß der Reibungs- und Motorcharakteristik im Gebiet $v_{GI} < v^*$

Schließlich ist rechts der Idealfall eines rein fremderregten Motors wieder zum Vergleich mit oben angeführt. Der Wurzel-Wert − ∞ rührt daher, daß die Motordrehzahl hier theoretisch überhaupt nicht gestört werden kann, die Störung also in ∞ kurzer Zeit verschwindet.
Beachtung verdient die Größe der Dämpfung: So wird etwa für das letzte Beispiel die Achsschwingung (deren – dämpfungsfreie – Kennfrequenz 53 Hz beträgt) hier so stark beeinflußt, daß der Störungsausschlag nach einer Vollschwingung (T = 1/48,787 = 0,0205 scc) bereits auf den exp (− 132,52 · 0,0205) = 0,066ten Teil abgeklungen ist, d. h. die Schwingung ist meßtechnisch nicht nachzuweisen.
Zusammenfassend ist zu sagen: Im Bereich des Makroschlupfes liegen stabile Verhältnisse vor, wobei die Reibungskennlinie, Motorkennlinie und Dämpfung im Antrieb stabilisierende Elemente sind. Erstere wirkt vornehmlich auf das Abklingen der Achsschwingung sowie auf das Zucken, die beiden letzteren auf die Grundschwingung Achse–Motor.

10.2. Die Verhältnisse bei Störung des gedachten Betriebspunktes B′ im Gebiet des Schleuderns (siehe Bild 4)

k_R	− 112,12					
k_M	0			327,7		
c_K/d_K	5237/832	14220/30,8	14480/24	5237/832	14220/30,8	14480/9,24
λ_1	8,1145	8,0788	8,0777	,22271	,22176	,22175
λ_2	−6,6710	4,1356±	7,4885±	− 9,3859±	,79937±	4,0484±
λ_3	− 309,50	j · 10,492	j · 10,552	j · 0,51581	j · 9,8709	j · 9,8947
λ_4	− 41,726±	9,4679±	11,859±	− 42,827±	9,3896±	11,831±
λ_5	j · 46,433	j · 53,268	j · 53,294	j · 46,457	j · 53,266	j · 53,198
λ_6	0	0	0	− 319,32	− 17,328	− 17,221

Tabelle 4: Wurzelfaktoren λ (1/sec) im Gebiet $v_{GI} > v^*$ ohne und mit Schleuderschutz

Im folgenden soll zwecks Übersichtlichkeit nur noch die Kombination c_K/d_K = 14480/9,24, die nach 9. zur Achsschwingung gehört, zugrunde gelegt werden, weil gerade letztere wegen der aufgetretenen Schäden besonders interessant erscheint, und überdies die Unterschiede gegenüber dem zur Grundfrequenz 11 Hz gehörigen mittleren c_K/d_K-Paar nicht groß sind.

Der Einfluß einer verschieden geneigten Motorkennlinie geht aus der folgenden Tabelle 5 hervor, die für $k_R = -112{,}12$ kNs/m gilt:

k_M	0	150	327,7	1000	∞
λ_1	8,0777	,51458	,22175	,16489	,14640
λ_2 λ_3	7,4885± j · 10,552	5,5334± j · 10,343	4,0484± j · 9,8947	5,7440± j · 9,0149	11,891± j · 8,8362
λ_4 λ_5	11,859± j · 53,294	11,846± j · 53,198	11,831± j · 53,198	11,780± j · 53,194	11,874± j · 53,151
λ_6	0	− 3,1540	− 17,221	− 86,132	− ∞

Tabelle 5: Einfluß der Neigung der Motorkennlinie im Gebiet $v_{GI} > v^*$

Man erkennt die wichtige Aussage, daß zumindest in diesem Punkt der Reibungscharakteristik selbst eine fremderregte Maschine die Schwingungen nicht stabilisieren kann. Die Vorstellung, man wäre aller Sorgen enthoben, wenn nur die Motorkennlinie entsprechend steil ist, findet keine Bestätigung. Diese Aussage ist jedoch im Gebiet kleinerer Neigung der Reibungscharakteristik zu korrigieren, wie die folgende Aufstellung, die für $k_M = 327{,}7$ kNs/m gilt, erkennen läßt:

k_R	$-126{,}12 = -k_{Rmax}$	− 112,12	− 65,298	− 9,0783	− 1
λ_1	,26646	,22175	,10629	,012177	,0013082
λ_2 λ_3	5,2461± j · 9,8727	4,0484± j · 9,9817	0± j · 10,275	− 4,8960± j · 10,494	− 5,5990± j · 10,514
λ_4 λ_5	13,440± j · 53,192	11,831± j · 53,198	6,4509± j · 53,206	0± j · 53,198	–,92618 j · 53,195
λ_6	− 16,427	− 17,221	− 19,839	− 22,971	− 23,427

Tabelle 6: Einfluß der Neigung der Reibungscharakteristik im Gebiet $v_{GI} > v^*$

Bei Überschreitung des Gipfels μ_{max} der Reibungskurve ($k_R = 0$) wird zunächst vornehmlich die Längsbewegung des Zugverbandes monoton instabil; dann wird die Achsschwingung entdämpft ($|k_R| > 9{,}0783$), und für $|k_R| > 65{,}298$ wird auch die Grundschwingung Radsatz-Motor instabil.
Den Einfluß wachsender Dämpfung d_K(kNs/m) in der Kupplung (soweit nicht schon aus Tabelle 4 ersichtlich) stellt die folgende Tabelle 7 klar. Festgehalten wird $k_M = 327{,}7$ kNs/m, $k_R = -112{,}12$ kNs/m und $c_K = 14478$ kN/m:

d_K	0	9,24	50	112,73	1000
λ_1	,22175	,22175	,22175	,22175	,22174
λ_2 λ_3	5,4547± j · 9,9786	4,0484± j · 9,9820	− 2,1109± j · 9,9409	− 11,523± j · 9,7020	− 14,155± j · 0,94224
λ_4 λ_5	12,873± j · 53,157	11,830± j · 53,198	7,1921± j · 53,337	0± j · 53,420	− 42,681± j · 44,869
λ_6	− 17,197	− 17,221	− 17,338	− 17,548	− 399,57

Tabelle 7: Einfluß der Dämpfung im Antrieb im Gebiet $v_{GI} > v^*$

Die Wirkung ist ähnlich wie oben in Tabelle 6: Zunchmende Dämpfung bringt also zunächst die Grundschwingung, dann die Achsschwingung zum Abklingen. Die vom Zucken herrührende Wurzel λ_1 ist durch diese Maßnahme nicht zu beeinflussen.
Damit im Zusammenhang wird letztlich noch der Einfluß der Anhängelast diskutiert. Die Aufstellung gilt für $k_M = 327{,}7$, $k_R = -112{,}12$ und $c_K/d_K = 14480/9{,}24$:

m_T	84,256	766,756	∞
λ_1	1,9844	,22175	0
λ_2 λ_3	3,9578± j · 9,9520	4,0484± j · 9,9817	4,0585± j · 9,9857
λ_4 λ_5	11,831± j · 53,199	11,831± j · 53,198	11,830± j · 53,197
λ_6	− 17,619	− 17,221	− 17,166

Tabelle 8: Einfluß der translatorisch bewegten Masse im Gebiet $v_{GI} > v^*$

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß lediglich durch ausreichende Dämpfung im Antriebssystem eine Beruhigung der gefährlichen Achsschwingung zu erreichen ist. Grundsätzlich ist in diesem „überkritischen" Gebiet die Einhaltung eines Betriebspunktes über längere Zeit nicht möglich, da zumindest eine Wurzel positiv ist; z. B. ist nach Tabelle 7 mit monotonem Abweichen vom Betriebspunkt mit einer Zeitkonstanten $1/\lambda_1 \sim 4{,}5$ sec zu rechnen.

10.3. Abschließende Bemerkungen

Die oben angestellte Stabilitätsuntersuchung „im Kleinen", also in nächster Nähe des gewünschten Bewegungszustandes, ist im überkritischen Gebiet aufklingender Schwingungen zu ergänzen. Die durchgeführte lineare Untersuchung auf der Tangente im Betriebspunkt hält natürlich nicht für größere Abweichungen. Denken wir uns – in Ermangelung genauerer Erkenntnisse – die „statisch" aufgenommene Reibungscharakteristik auch bei Auftreten von Schwingungen gültig*), so wird der darstellende Punkt einerseits ins Gebiet kleinerer $|k_R|$-Werte kommen, beim Rückgang jedoch eventuell den Gipfel μ_{max} unterschreiten und ins stabile Gebiet $v_{GI} < v^*$ eintreten. Wegen der Energieabfuhr in diesem Bereich bildet sich u. U. eine „stabile" Dauerschwingung aus, wie das Bild 8 erkennen läßt. Es zeigt Rechenergebnisse eines in einer weiteren Arbeit zu beschreibenden „Anfahrprogrammes", und zwar oben die Entwicklung der Gleitgeschwindigkeit am Antriebsrad der führenden Achsen „1" und „3" des vorderen und rückwärtigen Drehgestells einer 1044 vor einem Güterzug, unten das Achsmoment, umgerechnet auf Radumfang, also $Z_A = M_A/r$ mit $r = 0{,}632$ m, in der 1. und 3. Achse, bei Sollstromvorgabe in 3 sec.

Dargestellt ist der Verlauf innerhalb der ersten 12 sec. Man erkennt die Wirkung des Δn- bzw. des $\frac{di}{dt}$-Schleuderschutzes im hinteren Drehgestell, jedoch wird dieser zunächst vorne nicht ausgelöst, so daß die erwähnte Reibschwingung in „1" sich „ungehindert" entwickelt.

*) Diesbezügliche experimentelle Untersuchungen sollen an der T. U. Graz durchgeführt werden.

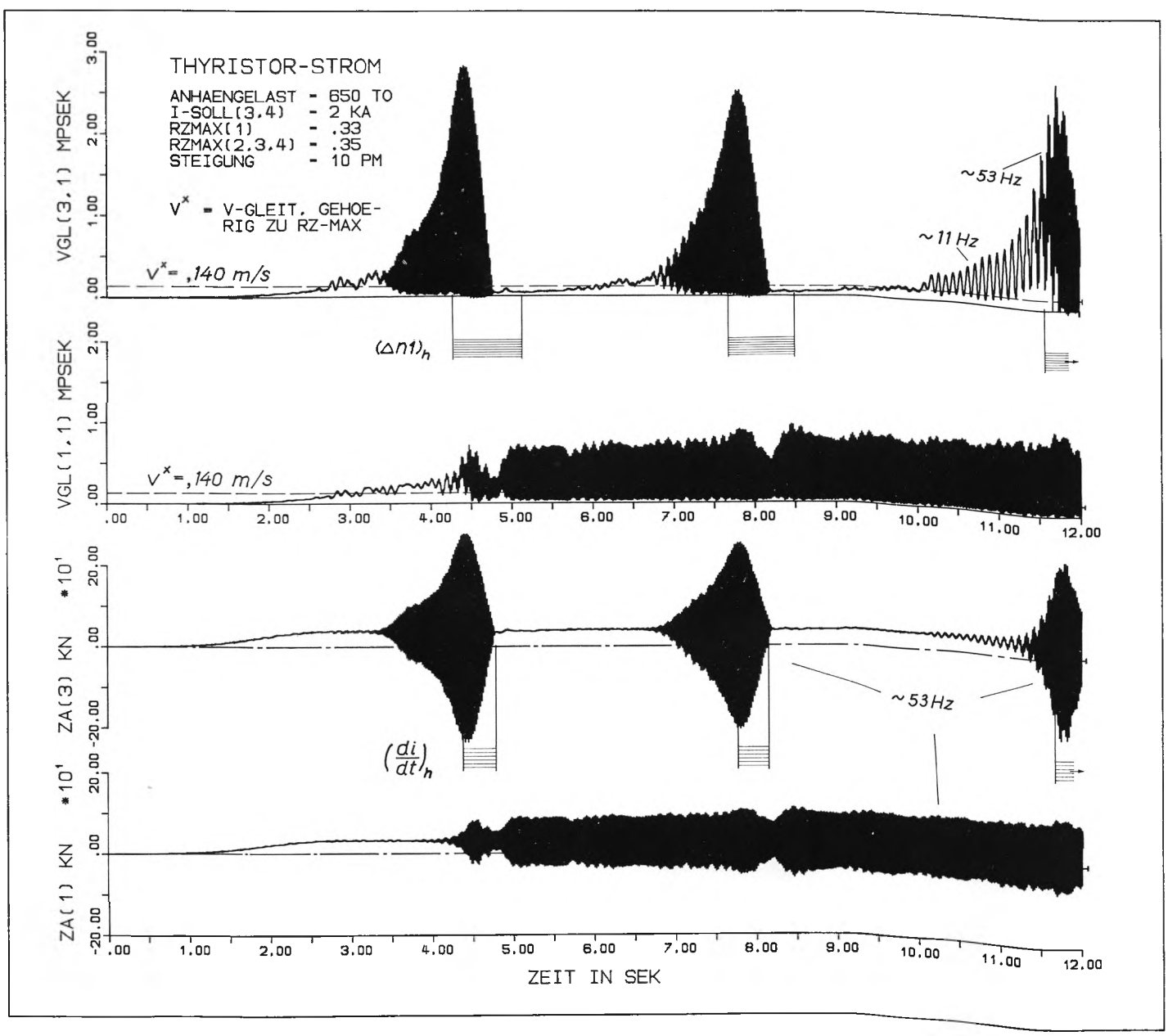
11. Zusammenfassung

Der stationäre Bewegungszustand eines gleichförmig beschleunigten Zugsverbandes wird gestört. Es wird untersucht, unter welchen Voraussetzungen und in welchem Maße aufklingende Schwingungen auftreten, die das System dynamisch instabil machen, und welche stabilisierenden Maßnahmen getroffen werden können. Obwohl die Arbeit eine genaue dynamische Untersuchung des Schleudervorganges (wie Hochdrehen des Motors, Auftreten einer stabilen Reibschwingung etc.) nicht ersetzt, gibt sie dennoch wertvolle Aufschlüsse über die Auswirkung der Schutzmaßnahmen, vornehmlich auf die gefährliche Radsatzschwingung im Bereich des Schleuderns. Insbesondere wird gezeigt, daß selbst eine ∞ steile Motorkennlinie die Bewegung nicht unbedingt stabilisiert.

Literaturnachweise:

1) E. Körner: Reibschwingungen eines elektrischen Triebfahrzeuges an der Haftwertgrenze, Glas. Ann. 101 (1977), S. 348–355.
2) F. Friedrich: Kraftschlußbeanspruchung am schrägrollenden Schienenfahrzeugrad, Glas. Ann. 94 (1970), S. 86–94.

Bild 8: Gleitgeschwindigkeit am angetriebenen Rad der Achse (1) und (3) sowie Achskraft in (1) und (3) – Achsnumerierung von Lokspitze aus – bei Anfahrt eines Güterzuges; Daten siehe Legende



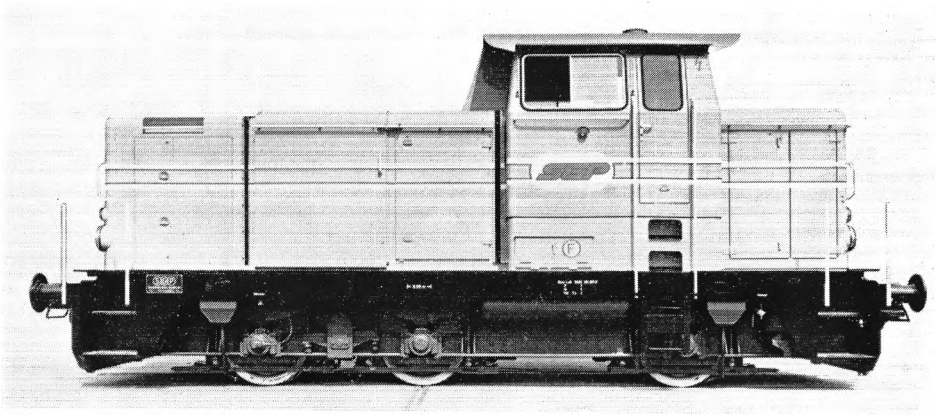
Neue Rangierlok-Generation von SGP

Die dieselhydraulische Verschublok der SGP-Reihe LDH 440 ist eine einfach zu bedienende, sehr robuste Rangierlok. Mit diesem Modell kommt SGP dem wachsenden Trend der Industrie nach Rationalisierung und erhöhter Betriebssicherheit nach. Der bewährte Achtzylinder-SGP-Dieselmotor S 208 c überträgt seine Leistung von 440 kW (600 PS) über ein vollautomatisches Turbo-Wendegetriebe auf die Achsantriebe. Die für eine Verschublokomotive so wichtige Fahrtrichtungsänderung wird lediglich durch Betätigung eines einzigen Hebels durchgeführt.

Dabei ermöglichen je zwei Drehmomentwandler, ohne Zwischenschaltung eines mechanischen Wendegetriebes, den Richtungswechsel. Im geräumigen Führerhaus sind die beiden Führerstände für die Positionen Fahrtrichtung 1 (vorwärts) bzw. 2 (rückwärts) sowohl für sitzende als auch stehende Bedienung vorgesehen. Sowohl die Betätigungselemente als auch die Überwachungsgeräte sind nach den neuesten ergonomischen Erkenntnissen angeordnet.

Durch die Verwendung des Turbo-Wendegetriebes kann die Lokomotive auch hydraulisch und somit verschleißfrei abgebremst werden, wenn während der Fahrt in die Gegenfahrtrichtung umgesteuert wird.

Der Lüfter der Kühlanlage und der Kompressor sind hydrostatisch angetrieben. Der thermostatisch stufenlos geregelte Lüfterlauf ermöglicht optimale Anpassung an den wechselnden Kühlbedarf. Der SGP-Kompressor Type BrK 6.125 versorgt die Bremsanlage und die elektropneumatische Steuerung mit Druckluft nach dem Aussatzsteuerungsprinzip.

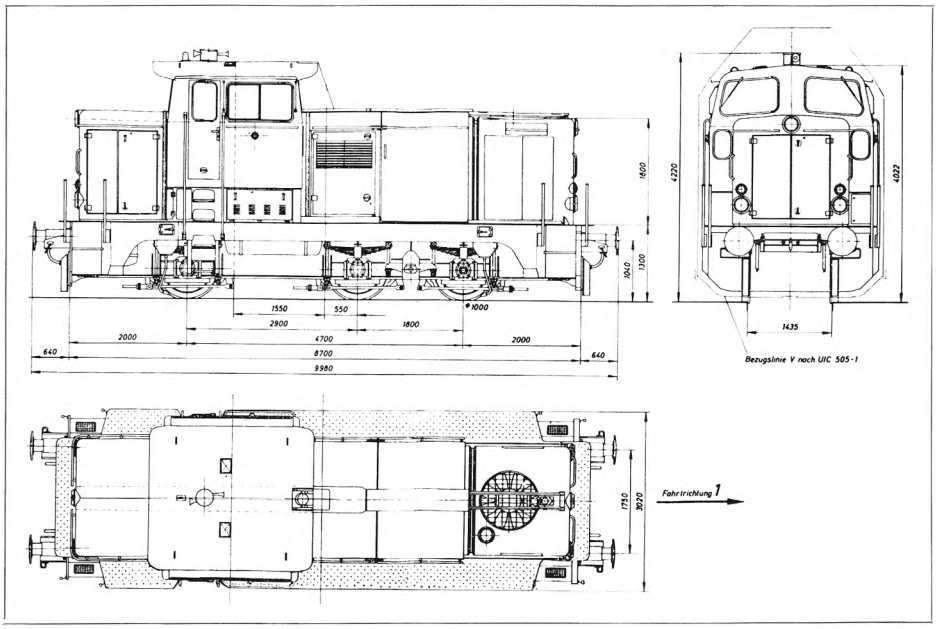


Die pneumatische Bremsanlage wird elektrisch vorgesteuert und ermöglicht durch den Wegfall von Druckluftleitungen im Führerstand eine günstige Anordnung der Bedienelemente. Die Gestängesteiler der Bremszylinder bewirken bei gleichbleibendem Kolbenhub eine automatische Nachstellung über den gesamten Bremsklotzabnützungsbereich.

Erwähnenswert sind weiters der Drehstromhilfsgenerator mit elektronischer Regelung, elektronischer Gleit- und Schleuderschutz, elektronische Zeit-Sifa, elektropneumatische „Auf/Ab"-Leistungsregelung für den Dieselmotor, elektronischer Übertourungsschutz, Kühlwasservorwärmung, Warmluftheizung für den Führerstand und Defrosteranlage. Speziell für den Einsatz in Industriebetrieben kann die Lok zusätzlich mit einer Funk-Fernsteueranlage geliefert werden.

Sämtliche Fahr- und Bremsbefehle können durch die tragbare Senderanlage vom Funk-Lokführer, der sich außerhalb der Lokomotive befindet, an die Steuerung der Lokomotive übertragen werden. Die mittlere Reichweite der Funksteuerung beträgt 1000 m.

Besonders im Rangierdienst, bei dem sonst die zur Durchführung der Fahrzeugbewegungen notwendigen Befehle dem Lokführer auf mündlichem Wege oder durch Zeichen übermittelt werden und Verständigungsfehler oder Fehlhandlungen nicht ausgeschlossen sind, helfen Fernsteuereinrichtungen, den Betrieb mit optimaler Sicherheit abzuwickeln.



Technische Daten

Achsfolge	C
Spurweite	1435 mm
Länge über Puffer	9980 mm
Gesamtachsstand	4700 mm
Laufkreisdurchmesser (neu)	1000 mm
Dienstgewicht bei vollen Vorräten	48/54/60 t
Achslast	16/18/20 t
Höchstgeschwindigkeit (ohne Streckengang)	40 km/h
Höchstgeschwindigkeit bei Ausführung mit Streckengang	75 km/h
Kleinste Vollast-Dauergeschwindigkeit	6,5 km/h
Anfahrzugkraft	155/175/194 kN
Kleinster zulässiger Gleisbogenhalbmesser	80 m

Traktionsmotor

Type	SGP S 208 c
Nennleistung	440 kW (600 PS)
Drehzahl	1500 U/min
Zylinderzahl	8
Hubvolumen	30,6 l

Hydraulische Kraftübertragung

Turbowendegetriebe	Voith L 4r4 zV2

Messevorschau

XXIII. Tagung der Internationalen Eisenbahn — Kongreß — Vereinigung Madrid, 27. September bis 2. Oktober 1982

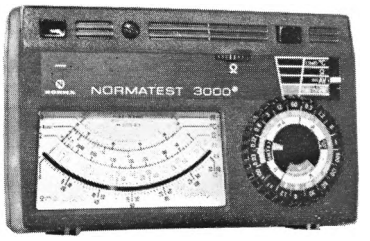
Das fachliche Programm des Kongresses steht unter dem Motto „Erhöhung der Leistung der Eisenbahnen". Die besonderen Ziele sind dabei die Erhöhung der Rentabilität, der Produktivität und der Dienstleistungsqualität der Eisenbahnen unter Berücksichtigung der technischen Entwicklung der einzelnen Bahnen durch Anwendung der Informatik und der Automatisation sowie andere neuer Techniken.

Dabei werden besonders berücksichtigt a) die Auswirkungen dieser neuen Techniken auf die Unternehmensleitung, das Personal und die Verkehrsmittelbenutzer sowie b) deren wirtschaftliche und finanzielle Aspekte.

Weiterhin kommen unter anderem zur Sprache: Systeme für die Betriebsführung; Systeme für die Steuerung und Überwachung des Betriebsablaufes; Systeme für die Stützung kommerzieller Aktionen, und — last not least — die möglichen technischen Fortschritte im Bereich des rollenden Materials und der Anlagen.

NORMATEST 3000

ein bewährtes Vielfachmeßgerät weiter verbessert



Umfangreiche Meßbereiche bis
6 A AC,DC
600 V AC,DC
5 MΩ
Geschütztes Spannband-Meßwerk
Bruchsicheres Gehäuse
Spiegelskala
Glasrohrsicherung, von außen zugänglich
Oberspannungsschutz
Erweiterter Frequenzbereich
Umfangreiches Zubehör:
Temperaturfühler
Zangenstromwandler usw.

NORMA

NORMA Messtechnik Gesellschaft m.b.H.,
A-1111 Wien, Postfach 88,
Fickeysstraße 1–11,
Telefon: (0222) 76 55 55 Δ,

STABEG
Apparatebauges.m.b.H.
Reinlgasse 5-9
1140 WIEN

SICHERHEIT
BREMSEN
pneumatisch
elektropneumatisch
lastabhängig
SCHEIBENBREMSEN

KOMFORT
LUFTFEDERUNG
ZUGEINRICHTUNGEN
ZUG-DRUCKEINRICHTUNGEN
PUFFER

Buchbesprechung

Alfred B. Gottwaldt:
100 Jahre deutsche Elektrolokomotiven

Eine Geschichte in 250 Fotografien von 1879 bis 1979.

Format 22,5 × 28,5 cm, 192 Seiten mit 250 Schwarzweißfotos und mehreren Zeichnungen im Text. Gebunden mit farbigem Schutzumschlag. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart. 1979. DM 48,—.

Aus Anlaß des hundertsten Geburtstages der Elektrolokomotive legt der Franckh-Verlag diese „Geschichte in 250 Fotografien" vor. Der Untertitel ist treffend gewählt, und Alfred B. Gottwaldt ist der richtige Autor für diese Art von Büchern. Der Text ist nicht sehr anspruchsvoll und tiefschürfend, die Technik wird nicht mehr betont, als dem Durchschnittsleser lieb ist, aber die historische Entwicklung ist exakt recherchiert.

Das Werk behandelt die Entwicklung der elektrischen Zugförderung in Deutschland von der Berliner Gewerbeausstellung 1879, von den Experimenten um die Jahrhundertwende, den legendären Schnellfahrversuchen über die Elektrifizierung der Länderbahnen und das Typenprogramm der Deutschen Reichsbahn bis zur aktuellen Situation in beiden deutschen Staaten — bis zur 120 und zur 250.

Dominierend sind dabei die Fotografien. Interessante historische Aufnahmen stehen neben Werksbildern und Fotos aus den Montagehallen, zahlreiche schöne Bilder zeigen aber auch den Einsatz auf der Strecke. Der begleitete Text — nach Epochen und Baureihen gegliedert — bringt, wie bereits erwähnt, nur das Nötigste über die Technik, mehr über Entstehungsgeschichte, Betriebseinsatz und Verbleib. Bei Umbauten und Verweisen auf Vorgängerbauarten wird die Sache durch die wechselnden Bezeichnungssysteme manchmal unübersichtlich — hier wäre eine zusammenfassende Tabelle der Typen mit den zugehörigen Nummern- bzw. Serienbezeichnungen sehr von Nutzen gewesen.

Von einigen Bauarten gibt es auch Typenzeichnungen, einzelne technische Details sind durch instruktive Zeichnungen verdeutlicht — allerdings sind die Auswahlkriterien bezüglich dessen, was gebracht und was nicht gebracht wird, nicht sehr durchsichtig.

Dankenswerterweise sind auch die Gleichstromtriebwagen der S-Bahn-Netze berücksichtigt worden. Ein kurzer Einschub beschäftigt sich auch mit österreichischen E-Loks „unter deutscher Nummer". Hier wird die E 18² als E 18 in „geänderter" Ausführung bezeichnet. Mit gleichem Platzaufwand hätte man statt „geändert" auch „verbessert" schreiben können, denn die feinstufige Steuerung und die erheblich erhöhte Motorleistung hätten dieses Prädikat gerechtfertigt.

Die Elektrotraktion in der DDR wird etwas stiefmütterlich behandelt, stehen ihr doch nur 4½ Seiten zur Verfügung. War dies der Bedeutung der elektrischen Zugförderung noch vor wenigen Jahren wohl angemessen, so hat man hier in letzter Zeit doch stark aufgeholt.

Die Ausdrucksweise Gottwaldts darf man nicht immer auf die Goldwaage legen. So heißt es z. B. über den Gummiringfederantrieb: „Über die Anrechenbarkeit des Motorgewichts auf den unabgefederten wie auf den abgefederten Teil sind die Gelehrten noch uneins." Als ob „Gelehrte" keine anderen Probleme hätten, ihre Einigkeit oder Uneinigkeit zu demonstrieren als am Beispiel eines Mehrmassenschwingers, das einem Grundlagenseminar über Dynamik angemessen wäre. Eine ähnlich unbefangen dahingeplauderte Ungenauigkeit findet man bei der E 21: Der Satz „Als Antrieb diente das Westinghouse-System mit Hohlwelle und Federtopf" ist eine ganze Entwicklungslinie (Westinghouse — Secheron — Kleinow) in Kurzfassung. Hier hätte man die Besonderheit des Kleinowschen Federtopfantriebes wohl ein wenig erläutern können, um so mehr, als er zur jahrzehntelang verwendeten Standardausführung für schnellfahrende Lokomotiven wurde.

Derartiges aber wird den Durchschnittsleser kaum stören — er findet, was er wahrscheinlich gesucht hat: eine umfassende und vollständige Zusammenstellung der deutschen Lokomotiven und Triebwagen mit Speisung aus Fahrdraht und Stromschiene — leicht lesbar und sehr ansprechend illustriert. Druck, Papierqualität und Ausfertigung tragen das Ihre zum gelungenen Gesamteindruck bei.

Siegfried Müller:
Elektrische und dieselelektrische Triebfahrzeuge

Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit, Arbeitsweise

Format 21 × 27,5 cm, 204 Seiten mit zahlreichen Abbildungen, Skizzen und Zeichnungen. Leinen gebunden mit Schutzumschlag. Birkhäuser-Verlag, Basel, Boston, Stuttgart. 1979. DM 74,—.

Ein Lehrbuch über elektrische Triebfahrzeuge? Nur sechs Jahre nachdem Prof. Sachs sein umfassendes Standardwerk auf den letzten Stand gebracht und neu aufgelegt hat, ist es kaum möglich, ein enzyklopädisches Lehrbuch über dasselbe Thema zu schreiben, das es an Vollständigkeit und Tiefgang mit diesem aufnehmen kann. Wenn sich daher ein erfahrener Fachmann, der selbst ein Vierteljahrhundert seines Lebens der elektrischen Traktion gewidmet hat, in reeller Einschätzung der Situation dennoch an das Thema heranwagt, so kann das nur bei selbstgewollter Beschränkung von Umfang und Inhalt zum Ziel führen, einen neuen Interessentenkreis anzusprechen. Nicht jedermann, der sich für Elektrolokomotiven interessiert, kann und will sich unbedingt gleich ein Werk in drei dicken Bänden ins Bücherregal stellen.

So wendet sich die Neuerscheinung gleichermaßen an Studierende (wenn sie nicht gerade an einer Diplomarbeit arbeiten) wie an Praktiker, die sich von Berufs wegen mit dem Thema beschäftigen, aber auch an aufgeschlossene und fachlich interessierte „Eisenbahnfreunde", die ihrem Hobby mehr Tiefgang verleihen wollen.

Schon das umfangreiche Inhaltsverzeichnis von vier Seiten (8 Spalten mit 220 Positionen) zeigt, daß sich der Autor viel vorgenommen hat. Natürlich kann die Behandlung dann bei der gegebenen Raumbeschränkung nicht besonders ausführlich sein. Aber es wird doch von jedem Thema das Wesentliche gebracht und so eine informative und wohlausgewogene Zusammenschau geboten.

Der erste Abschnitt beschäftigt sich mit wirtschaftlichen Überlegungen; mit Fragen der Systemeignung aus der Sicht der Investitions- und Betriebsführungskosten — ein Thema, das sonst in der technischen Fachliteratur gerne zu kurz kommt und doch in der Praxis für zu treffende Entscheidungen viel entscheidendere Bedeutung besitzt als rein technische Aspekte. Die nächsten Abschnitte behandeln die Berechnung der Fahrwiderstände und Zugkräfte, die Dimensionierung der Triebfahrzeuge aus dem geforderten Fahrprogramm und die Übertragung der Zugkräfte zwischen Rad und Schiene. Als Beispiel für die Art der gewählten Behandlung sei angeführt, daß für die Fahrwiderstände sehr weit gegliederte Erfahrungsformeln angegeben werden, die durch lange Tabellen empirisch ermittelter Kennwerte ergänzt sind und eine brauchbare Vorausberechnung sicher zulassen. Dagegen wird auf Theorie weitgehend verzichtet — so werden bei der Behandlung des Reibwertes (hier unkonventionellerweise mit ω bezeichnet) moderne Kraftschlußtheorien nicht erwähnt und wird die Kurve nach Curtius-Kniffler als allgemein anerkannt hingestellt. Über die Achsentlastung heißt es: „Die Lok **bäumt sich auf,** wenn sie den Zug anfährt, **dadurch** werden die vorderen Achsen entlastet." Dieses ungemein pla-

Wer versichert ist, hat einen Freund

WIENER STÄDTISCHE

Bauunternehmung

Ingenieure
Badjura, Petri & Co. KG

Eisenbahnbau (Neubau und Instandhaltung von Gleisanlagen), Projektierung und Bauausführung von Industriegleisanlagen

Lieferung von Eisenbahnoberbau- und Feldbahnmaterial sowie von kompletten Gleisanlagen für Turmdrehkräne

Hoch-, Tief- und Stahlbetonbau

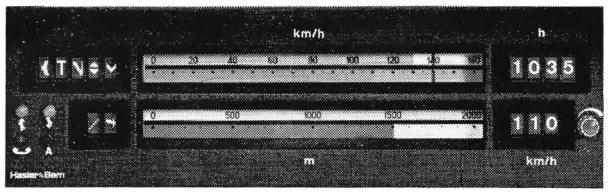
2380 Perchtoldsdorf

Stadtbüro:
1080 Wien, Schlösselgasse 19
Fernruf (0 22 2) 43 61 87-0

Verkauf, Lager und Bauhof I:
1235 Wien-Liesing, Lastenstraße 14
Fernruf (0 22 2) 86 95 72

Bauhof II:
2351 Wiener Neudorf, Griesfeldgasse
Fernruf (0 22 36) 22 95

Teloc E, die elektronische Weg- und Geschwindigkeitsmessanlage von Hasler, löst Ihnen auch Probleme beim Gleit- und Schleuderschutz



Die auf die Zugsüberwachung und -beeinflussung ausgerichtete Anlage «Hasler Teloc-E» umfasst: ein zentrales Gerät mit Rechner, Fahrtenschreiber und z.B. wegabhängigem Sicherheitsapparat, Steuerung der Spurkranzschmierung und Gleit/Schleuderschutz; dazu Anzeigegeräte für Soll- und Ist-Geschwindigkeit, Weg- und Zielinformationen.

▲ Anzeigegerät für Triebfahrzeuge mit LZB

◀ Thyristorlok 1044 ÖBB

Hasler AG
Belpstrasse 23
CH-3000 Bern 14
Tel. 031 65 21 11
Telex 32 413 hawe ch

Hasler

Hasler Verkehrstechnik

Tachometer, Tachografen, Ferntachometer, Restwegschreiber, Achsbüchskilometerzähler; elektronische Weg- und Geschwindigkeitsmessanlagen, elektronische Gleit- und Schleuderschutzanlagen; Billet- und Geldwechselautomaten; zentralgesteuerte Uhrenanlagen; Akustik- und Palettenanzeigesysteme; Stromversorgungsanlagen.

Österreichische Generalrepräsentanz:
ING. KARL BITZ GMBH
1220 Wien, Donaustadtstraße 1
Tel. 23 45 52/0, FS 07-7962

Buchbesprechung

stische Bild hat nur den Nachteil, daß es physikalisch Ursache und Wirkung durcheinanderbringt. Denn eine völlig ungefederte Lok „bäumt" sich keineswegs auf und doch werden die vorderen Achsen entlastet. Tatsächlich ergibt sich die Achsentlastung bei statisch bestimmter Auflagerung rein aus den äußeren Kräfteverhältnissen, und dadurch bäumt sich die Lok auf, das heißt, der Lokkasten stellt sich durch das Federspiel schräg.

Im Kapitel „Antriebe" unterscheidet der Autor zwischen Tatzlagerantrieb, Schwebemotor (Gummiringfederantrieb), kardanischen Hohlwellen-Antrieben und Längsmotor. Daß es auch Antriebe mit Gestellmotoren gibt, bei denen der federnde oder gelenkige Mechanismus nicht kardanisch aufgebaut ist, sondern in einer Ebene liegt (z. B. BBC-Federantrieb, Alsthoms „tanzender Ring" usw.), wird dagegen verschwiegen. Ob man beim Gummiringfederantrieb das Motorgewicht mit Recht als „vollständig abgefedert" hinstellen darf (obwohl der Motor doch an einem gewissen Teil des Federspiels teilnimmt und hinsichtlich der Dynamik in der Vertikalrichtung ziemlich stark mit dem Radsatz verkoppelt ist), soll hier nicht zur Diskussion gestellt werden. Dagegen sei der Passus, daß „durch die Verzahnung gegebenenfalls **Drücke** auf die Motorlager entstehen" als Beispiel dafür zitiert, daß in diesem Buch, das dankenswerterweise konsequent in den internationalen Einheiten verfaßt ist, wiederholt das Wort „Druck" im Sinne einer Kraftwirkung verwendet wird.

Auch sonst ist der Text nicht ganz frei von sprachlichen oder sachlichen Ungenauigkeiten. So heißt es: „Bei Blattfederung der Achsen kann die Federspannung durch Spannschrauben so verändert werden, daß das Gewicht ... gleichmäßig ... verteilt wird." Warum geht das nur bei Blattfederung und nicht auch bei Schraubenfederung? Daß man dagegen die Zugvorrichtung am Hauptrahmen befestigt, „um zu **verhindern,** daß Drehgestelle **nicht** schlingern" (Seite 38), wird kaum jemand glauben wollen.

Bei der Behandlung der elektrischen Ausrüstung werden alle wichtigen Komponenten erfaßt, besonders ausführlich wird aber auf die Fahrmotoren eingegangen. Hier werden die verschiedenen Bauarten und deren konstruktiver Aufbau vorgestellt, aber auch sehr instruktiv auf die in den einzelnen Bereichen der (reichlich gebrachten) Kennlinienfelder maßgebenden Grenzwerte für die Beanspruchung verwiesen.

Anhand zahlreicher Schaltbilder werden die grundsätzlichen Arbeitsweise, der Aufbau des Hauptstromkreises und die Steuerverfahren erläutert. Bei den Gleichstromtriebfahrzeugen wird zu den Gruppierungsschaltungen erwähnt, die Brückenschaltung sei die eleganteste. Hier hätte wohl auch die Schaltung mit Diode im Brückenzweig als „höchste Eleganz" Erwähnung finden sollen.

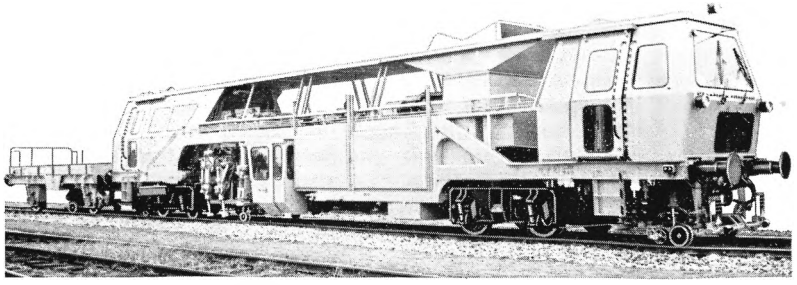
Antriebe mit Drehstromfahrmotoren werden in Übersichtsform behandelt, die Unterscheidung zwischen spannungs- und stromgeführten Systemen wird klar herausgestellt, ein Wechselrichterschaltbild wird allerdings nur für letzteres (Phasenfolgewechselrichter) geliefert. Ziemlich ausführlich widmet sich der Autor den dieselelektrischen Triebfahrzeugen, insbesondere dem Zusammenwirken zwischen der elektrischen und der Dieselmotorsteuerung bzw. -regelung. Mit dem Kapitel über die elektrische Bremse wird der Teil über die Triebfahrzeuge abgeschlossen, ein letzter Abschnitt wendet sich den ortsfesten Anlagen der Stromerzeugung und -verteilung, der Fahrleitung sowie Systemen der Informationsübertragung und Fernsteuerung zu. Ein Abriß über unkonventionelle Antriebe (Schwebefahrzeuge) ist mit „Zukünftige Technik" überschrieben. Ob dieser Technik tatsächlich die Zukunft gehört? Am Schluß des Buches findet man ein eher mageres Literaturverzeichnis und ein erfreulich ausführliches Stichwortregister.

Im ganzen gesehen, erscheint der Zweck des Werkes gut erfüllt zu sein. Wenn man über die kleinen Oberflächlichkeiten im Text hinwegsieht, so wird ein umfassender Überblick über das gestellte Thema geboten und unter weitgehender Ausklammerung theoretischer Überlegungen und Herleitungen sind auch viele wertvolle Informationen über Einzelkomponenten zu finden. Besonders positiv tragen zu diesem Ergebnis die Illustrationen bei. Sehr instruktive Zeichnungen über Bauteile und Ausrüstungsgegenstände, Kennlinien und Diagramme bieten mehr Informationswert als durch Aufblähung des Textes hätte gewonnen werden können. Ein Anhang stellt 15 repräsentative Fahrzeuge jeweils mit Kurzbeschreibung, Foto, Typenzeichnung und Hauptstrombild vor. Darunter findet man Standardfahrzeuge aus Europa ebenso wie aus recht „exotischen" Ländern, wie Südafrika und China, und auch den Drehstromzug der Wiener U-Bahn.

Die repräsentative, schwere Papierqualität, der hervorragende Druck und die saubere Bindung liefern dem Werk den ansprechenden äußeren Rahmen.

P. Schmied

langjährige Erfahrung
weltweiter Kundendienst
technischer Fortschritt



PLASSERMATIC 07-275
DIE WEICHENSTOPFMASCHINE, DIE
SCHNELL UND DAUERHAFT
ARBEITET

Mit PLASSER & THEURER immer einen Schritt voraus!

POINT

Schwingschiebetüren von Heute mit der Technik von Morgen.

Der von IFE entwickelte Türmechanismus zeichnet sich speziell durch Funktionssicherheit aus und hat sich auch unter extremen Betriebsbedingungen eindeutig bewährt. Der IFE-Türantrieb mit patentierter Rollenschwingführung dient gleichzeitig zur Aufhängung des Türblattes und nimmt sämtliche, durch das Eigengewicht verursachte Vertikalkräfte auf. Die unteren Führungselemente können im Wageninneren untergebracht werden und sind dadurch vor Witterungseinflüssen und Verschmutzung geschützt. Die Zuverlässigkeit der IFE-Türen hat sich in Nahverkehrsmitteln wie U-Bahnen und Vorortezügen tausendfach erwiesen. Aber auch für Reisezugwagen haben sich die entscheidenden Vorteile der IFE-Tür bereits vielfach bestätigt. Auf diesem Sektor kann neben dem erprobten Türantriebssystem auch eine Steuerung in modernster Mikroprozessortechnik geliefert werden. Dieses neuartige Steuersystem garantiert höchste Funktionssicherheit und kann erforderlichenfalls auf einfache Weise umprogrammiert werden. Überdies kann die Mikroprozessortechnik auch in preislicher Hinsicht mit den herkömmlichen Relaissteuerungen konkurrieren.

Die Qualität der IFE-Tür konnte seit mehr als 20 Jahren erfolgreich unter Beweis gestellt werden — eine Tatsache, die für IFE spricht.

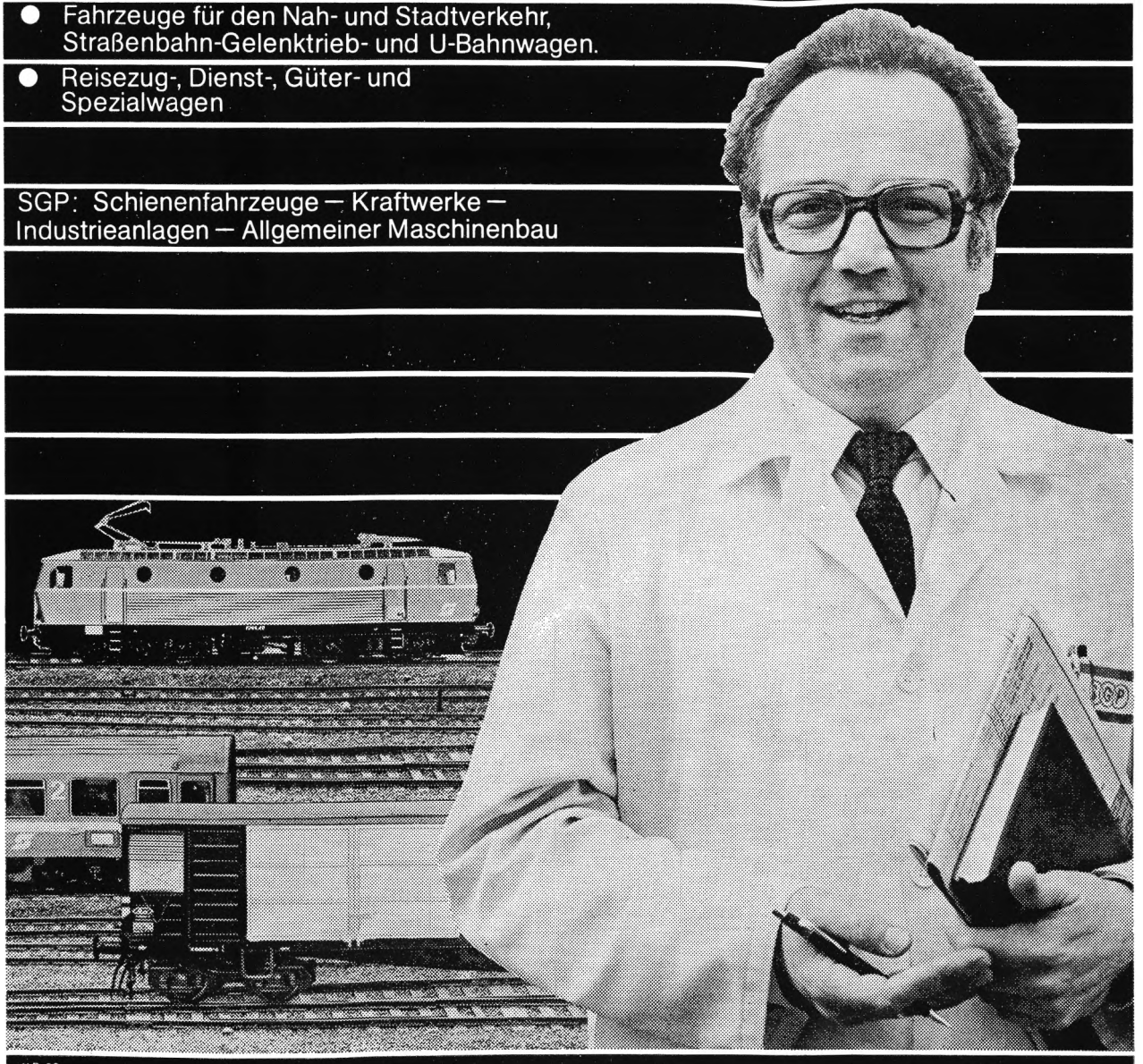
Schwingschiebetür von IFE

IFE GmbH
A-3340 Waidhofen/Ybbs
Tel. (0 74 42) 25 4 50
D-8900 Augsburg
Tel. (0 821) 39 0 40
CH-6000 Luzern 6
Tel. (041) 31 22 26

Alles, was auf Schienen rollt . . .

- Elektro- und Diesellokomotiven für alle Spurweiten sowie Sonderlokomotiven
- Elektro- und Dieseltriebwagen und Triebwagenzüge
- Fahrzeuge für den Nah- und Stadtverkehr, Straßenbahn-Gelenktrieb- und U-Bahnwagen.
- Reisezug-, Dienst-, Güter- und Spezialwagen

SGP: Schienenfahrzeuge — Kraftwerke — Industrieanlagen — Allgemeiner Maschinenbau



11B 80

SGP

SIMMERING-GRAZ-PAUKER AG
A-1071 Wien, Mariahilfer Str. 32

Telefon: (0 22 2) 93 05 21
Telex: 132767

SIMMERING-GRAZ-PAUKER AG

LÖST PROBLEME NACH MASS